



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 août 1955 -SKIKDA



Faculté de Technologie
Département de Pétrochimie

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière: Industries Pétrochimiques

Spécialité: Génie Pétrochimique

Thème:

**L'étude de la possibilité d'utiliser l'éthanol comme
alternative au MTBE dans les essences**

Réalisé par:

- **SEBBANE Haroune**
- **LAGGOUNE Oussama**

Encadré par:

Dr. KHERRAF Sihem
Dr. DJETOUI Zohra

Année Universitaire 2022/2023

Résumé

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet de l'ajout d'éthanol sur les propriétés de l'essence produite à la raffinerie de Skikda RA1K dans le but de remplacer le MTBE, un produit toxique largement utilisé. Cette étude souligne l'importance de trouver des solutions durables pour remplacer le MTBE et favoriser des carburants plus sûrs et plus écologiques. L'étude a été réalisée sur deux types d'essence (essence contenant le MTBE et essence améliorée par l'éthanol). L'évaluation de l'effet de l'ajout d'éthanol sur les propriétés de l'essence était primordiale, en particulier en ce qui concerne l'indice d'octane et les performances du moteur.

Les résultats de l'étude comparative montrent que le MBTE et l'éthanol ont des effets économiques similaires tandis que l'éthanol est considéré comme le meilleur choix en raison de ces propriétés respectueuses de l'environnement.

Les résultats obtenus pourraient contribuer à la recherche sur les carburants alternatifs plus respectueux de l'environnement et à la transition vers des carburants moins nocifs pour la santé humaine.

Mots clés : éthanol, MTBE, essences, indice d'octane, produit toxique, Environnement.

المخلص

الهدف من هذا العمل هو تقييم تأثير إضافة الإيثانول على خصائص البنزين المنتج في مصفاة سكيكدة RA1K من أجل استبدال MTBE ، وهو منتج سام يستخدم على نطاق واسع .تسلط هذه الدراسة الضوء على أهمية إيجاد حلول مستدامة لتحل محل MTBE والترويج لأنواع وقود أكثر أماناً وصديقة للبيئة .أجريت الدراسة على نوعين من البنزين (بنزين يحتوي على MTBE والبنزين المحسن بالإيثانول) . يعتبر تقييم تأثير إضافة الإيثانول على خصائص البنزين أمراً بالغ الأهمية ، لا سيما فيما يتعلق بتصنيف الأوكتان وأداء المحرك .تظهر نتائج الدراسة المقارنة أن MBTE والإيثانول لهما تأثيرات اقتصادية متشابهة بينما يعتبر الإيثانول الخيار الأفضل بسبب خصائصه الصديقة للبيئة .يمكن أن تسهم النتائج التي تم الحصول عليها في البحث عن أنواع الوقود البديلة الأكثر احتراماً للبيئة والانتقال إلى أنواع الوقود الأقل ضرراً بصحة الإنسان.

الكلمات المفتاحية: الإيثانول ، MTBE ، البنزين ، رقم الأوكتان ، المنتج السام ، البيئة.

Abstract

The objective of this work is to evaluate the effect of the addition of ethanol on the properties of gasoline produced at the Skikda RA1K refinery in order to replace MTBE, a widely used toxic product. This study highlights the importance of finding sustainable solutions to replace MTBE and promote safer and more environmentally friendly fuels. The study was carried out on two types of gasoline (gasoline containing MTBE and gasoline improved by ethanol). Assessing the effect of the addition of ethanol on gasoline properties was paramount, particularly with respect to octane number and engine performance. The results of the comparative study show that MBTE and ethanol have similar economic effects while ethanol is considered the best choice due to these environment-friendly properties. The results obtained could contribute to research on alternative fuels that are more respectful of the environment and to the transition to fuels that are less harmful to human health.

Keywords: ethanol, MTBE, gasoline, octane number, toxic product, environment.

Remerciements

*Nous remercions tout d'abord notre Dieu Qui nous a donné la force et la puissance pour terminer
ce modeste travail.*

*Nous remercions très sincèrement nos rapporteurs Dr S. KHERRAF et Dr Z. DJETOUI : leurs
conseils, pour leur aide précieuse, leurs orientations et le temps qu'elles nous ont accordé pour
notre encadrement.*

Nos remerciements vont également à nos jurés pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

*Nous profonds remerciements vont aussi au personnel de la raffinerie de Skikda pour leur accueil
et leur aide à mener à bien ce travail, en particulier Mr KHOUALED Abdelmoumen et Mr
MEZDOUR Marouane.*

*Nous profitant de l'occasion pour remercier tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin À la
réalisation de ce mémoire*

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes parents les plus chers que ma vie, qui ont su m'apporter amour Et sentiment tendre et qui

ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui Et je leur serai toujours redevable.

A mes frères et ma sœur je vous réserve toujours une place dans mon cœur.

A mon binôme Oussama , Mon chère amie et Mon chère collègue.

A tous mes amis sans exception

À tous ceux qui me connaissent et m'ont soutenu, même avec le sourire.

HAROUNE

Je dédie ce travail :

À ma chère Mère ,

Tu es mon modèle, celle qui a enduré la souffrance sans me laisser souffrir, celle qui mérite le plus mon estime. Je te remercie d'avoir été constamment présente pour me soutenir tout au long de mon parcours. Ton amour, ton affection et tes encouragements sont ma plus grande richesse dans la vie .Que Dieu te comble de bonheur et de santé, ma chère Mère.

À mon cher Père Laggoune Abbas, Toi, précieuse bénédiction de Dieu, tu t'es toujours sacrifié pour ma réussite. Sans toi, je ne serais pas là où je suis aujourd'hui. Tes efforts pour mon bonheur sont inestimables. Que ce modeste travail te rende fier de moi. Que Dieu te protège pour nous.

À mon cher frère Zakaria Laggoune, ainsi qu'à mes sœurs Salma et Salsabil, je souhaite vous exprimer tout mon amour et ma profonde gratitude.

À tous les membres de la famille Laggoune, Vous êtes une famille remplie d'amour et de sacrifices, et je suis reconnaissant(e) de votre présence dans ma vie. Que Dieu veille sur vous tous.

À mon cher ami Raid Bousoualim, Mohammed Bjaoui et Mehdi Dikari, Vous avez été des piliers solides dans ma vie, des compagnons de route indispensables. Votre amitié, votre soutien et votre présence dans les moments difficiles ont été d'une importance capitale. Je vous suis reconnaissant(e) du fond du cœur.

Enfin, je voudrais exprimer ma profonde gratitude à tous mes chers amis qui ont été à mes côtés et m'ont soutenu dans toutes les épreuves. Vous êtes d'une valeur inestimable dans ma vie et je vous suis reconnaissant(e) à tous.

Cette dédicace est une humble reconnaissance envers ceux qui ont été des piliers dans ma vie. Leur soutien et leur amour ont été des moteurs essentiels dans mon parcours. Je serai éternellement reconnaissant(e) pour leur présence et leurs sacrifices.

Oussama

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau I.1: Spécifications des essences (Essences NA 8108 - 1992)..... | 12 |
| Tableau II.1 : Conditions opératoires d'isomérisation..... | 28 |
| Tableau IV.1: Caractéristiques des bases..... | 40 |
| Tableau IV.2: Caractéristiques de l'essence sans plomb..... | 40 |
| Tableau IV.3 : quantités semestrielles des bases et des essences en hiver en 2022..... | 41 |
| Tableau IV.4 : quantités semestrielles des bases et des essences en été en 2022..... | 42 |
| Tableau IV.5 : Caractéristiques des essences calculées par le solveur dans les conditions hiver..... | 43 |
| Tableau IV.6 : la composition de l'essence sans plomb contenant du MTBE à l'hiver 2022..... | 44 |
| Tableau IV.7 : la composition de l'essence sans plomb contenant de l'éthanol à l'hiver 2022..... | 46 |
| Tableau IV.8: Caractéristiques des essences calculées par le solveur dans les conditions été | 47 |
| Tableau IV.9 : la composition de l'essence sans plomb contenant du MTBE produite à l'été 2022..... | 48 |
| Tableau IV.10 : la composition de l'essence contenant de l'éthanol produite à l'été 2022..... | 49 |
| Tableau IV.11 : les gains financiers de l'utilisation du MTBE et de l'éthanol dans la production d'essence à l'hiver 2022..... | 50 |
| Tableau IV.12 : les gains financiers de l'utilisation du MTBE et de l'éthanol dans la production d'essence en été | 51 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure I.1 : Tétra-Éthyle de Plomb | 04 |
| Figure I.2 : Description du principe de la réfraction..... | 07 |
| Figure I.3 :Moteur CFR..... | 10 |
| Figure I.4 : Schéma de principe de fonctionnement d'un moteur..... | 11 |
| Figure I.5 :la molécule d'éthanol..... | 12 |
| Figure II.1 : Schéma de distillation ATM avec une seule colonne..... | 15 |
| Figure II.2 : Schéma de distillation ATM avec une colonne de pré distillation..... | 18 |
| Figure II.3 : Schéma de distillation ATM avec évaporation préalable..... | 19 |
| Figure II.4 : Principe de reformage catalytique..... | 20 |
| Figure II.5 : Déshydrogénation du cyclohexane en benzène..... | 21 |
| Figure II.6 : Isomérisation des n-paraffines en isoparaffines..... | 22 |
| Figure II.7 : Cycle activation – régénération..... | 22 |
| Figure III.1 : Situation géographique de la raffinerie de Skikda..... | 26 |
| Figure III.2 : Schéma descriptif de la raffinerie de SKIKDA..... | 30 |

Liste des abréviations

SONATRACH : Société Nationale Pour La Recherche, La Production, Le Transport, La Transformation, Et La Commercialisation Des Hydrocarbures.

RA1K : Raffinerie De Skikda

MTBE : Methyl tert-Butyl Ether

PTE: Tétraéthyle De Plomb

S.I : Système International

ASTM : American Society for Testing Materials

TVR : Tension De Vapeur Reid

Cst : Centistokes

BSW : Basic Sediment and Water

RON: Research Octane Number

MON : Motor Octane Number

CFR : Cooperative Fuel Research

ETBE : Éthyle Tert-Butyl Éther

TAME: Tertio-Amyl Méthyl-Ether

ATM : Atmosphérique

Pt : Platinum

Rh : Rhodium

DMDS : Disulfure de diméthyle

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié

MELEX : Stockage, Mélange Et Expédition

C. T. E : Centrale Thermique Electrique

BRI : Brut Réduit Importé

CTE : Centrale Thermoélectrique

DEN_{min} : Densité Minimum De L'essence

DEN_{max} : Densité Maximum De L'essence

ERL : Reformat Léger

nP : Paraffines à chaînes droites

iP : Paraffines à chaînes ramifiée

Table des Matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

INTRODUCTION GENERALE.....01

Chapitre I : généralités sur les essences

I.1 Introduction03

I.2 Définition de l'essence03

I.3 Types d'essence04

I.3.1 Essence normale04

I.3.1.1 Additif de Plomb (PTE)04

I.3.2 Le supercarburant05

I.3.3 Essence sans plomb05

I.4 Propriétés physico-chimiques des essences05

I.4.1 Propriétés physiques05

I.4.1.1 Masse volumique (Densité).....05

I.4.1.2 La distillation ASTM06

I.4.1.3 Indice de réfraction06

I.4.1.4 La tension de vapeur Reid (TVR)07

I.4.1.5 Le point d'écoulement07

I.4.1.6 Viscosité07

I.4.1.7 Couleur07

I.4.2 Propriétés chimiques07

I.4.2.1 Teneur en eau et sédiments (BSW)07

I.4.2.2 Teneur en sels08

| | |
|--|----|
| I.4.2.3 Point d'aniline | 08 |
| I.4.2.4 Point d'éclair | 08 |
| I.4.2.5 L'indice d'octane | 08 |
| I.4.2.5.1 Moteur CFR | 09 |
| I.4.2.5.2 Paramètres affectant l'indice d'octane | 10 |
| I.4.2.5.3 Incidence de l'indice d'octane sur le fonctionnement des moteurs | 10 |
| I.5 Spécifications des supercarburants | 11 |
| I.6 Essence sans plomb | 13 |
| I.6.1 Effets du plomb sur la santé | 13 |
| I.6.2 Additifs de l'essence sans plomb | 13 |
| I.6.2.1 MBTE | 13 |
| I.6.2.2 L'éthanol | 14 |
| I.6.2.2.1 Avantages de l'éthanol | 15 |
| I.6.2.2.2 Inconvénients de l'éthanol | 15 |
| I.6.3 Avantage de l'essence sans plomb | 15 |
| Chapitre II : procédés de fabrication | |
| II.1 Introduction | 17 |
| II.2 Procédés de fabrication | 17 |
| II.2.1 Distillation | 17 |
| II.2.1.1 Distillation atmosphérique | 17 |
| II.2.1.2 Méthodes de distillation | 18 |
| II.2.1.2.1 Distillation sur une seule colonne | 18 |
| II.2.1.2.2 Distillation avec un colonne de pré distillation | 18 |
| II.2.1.2.3 Distillation avec un ballon de flash | 19 |
| II.2.1.3 Distillation sous vide | 20 |
| II.2.2 Le reformage catalytique | 20 |
| II.2.2.1 Catalyseurs du reformage catalytique | 21 |
| II.2.2.2 Réactions élémentaires du reformage catalytique | 21 |
| II.2.2.2.1 Déshydrogénation des cyclanes en hydrocarbures aromatiques | 21 |

| | |
|---|----|
| II.2.2.2.2 Isomérisation des n-paraffines en isoparaffines et des alkylcyclopentanes en alkylcyclohexanes | 22 |
| II.2.2.2.3 Hydrocraquage | 23 |
| II.2.2.2.4 Formation de coke | 23 |
| II.2.2.3 Hydrotraitement ou prétraitement de naphta | 23 |
| II.2.2.3.1 Réactions de l'hydrotraitement | 23 |
| II.2.2.4 Régénération du catalyseur | 24 |
| II.2.2.4.1 Combustion du coke | 24 |
| II.2.2.4.2 L'oxychloration | 25 |
| II.2.2.4.3 La réduction | 25 |
| II.2.2.4.4 Sulfuration | 25 |
| II.2.3 Procédé d'isomérisation | 25 |
| II.2.3.1 Catalyseurs du procédé | 26 |
| II.2.3.1.1 Conditions opératoires | 26 |

Chapitre III : Historique et présentation de la raffinerie de Skikda

| | |
|--|----|
| III.1 Introduction | 29 |
| III.2 Présentation générale de la raffinerie de Skikda | 29 |
| III.2.1 Situation géographique | 29 |
| III.2.2 Présentation des différentes unités de production | 30 |
| III.2.2.1 Unités 10-11 (Distillation atmosphérique) | 31 |
| III.2.2.2 Unités 100 et 103 (Unités Magnaforming, Platforming) | 31 |
| III.2.2.3 Unités 30-31-104 (Séparation et Traitement des Gaz) | 31 |
| III.2.2.4 Unité 200 (Extraction des Aromatiques) | 32 |
| III.2.2.5 Unité 400 (Séparation du Paraxylène) | 32 |
| III.2.2.6 Unité 500 (Isomérisation du M-xylène) | 32 |
| III.2.2.7 Unités 700/701/702/703 (Unité d'isomérisation du naphta léger A) | 32 |
| III.2.2.8 Unité 70 (Production de Bitume) | 33 |
| III.2.2.9 Unité 600 (Unité Melexe) | 33 |
| III.2.2.10 Centrale thermoélectrique | 34 |

| | |
|---|----|
| III.2.2.11 Unité 900 (Unité de purification de l'hydrogène) | 34 |
|---|----|

Chapitre IV : Partie calcul

| | |
|--|----|
| IV .1 Problématique | 36 |
| IV.2. Objectif | 36 |
| IV.3. Formulation des essences à la raffinerie de Skikda RA1K | 36 |
| IV.4. Formulation du problème | 37 |
| IV.4.1. Identification des variables | 37 |
| IV.4.2 Formulation des contraintes | 37 |
| IV.4.2.1 La contrainte de quantité | 37 |
| IV.4.2.1.a La contrainte de disponibilité du base | 37 |
| IV.4.2.2 Les contraintes de qualité | 38 |
| IV.4.2.2.a Les lois du mélange | 38 |
| IV.4.2.3 Les contraintes du modèle | 38 |
| IV.5 Formulation des essences | 39 |
| IV.6 Effet de l'addition de l'éthanol sur les propriétés de l'essence sans plomb | 42 |
| IV.6.1 Hiver 2022..... | 42 |
| IV.6.2 Été 2022 | 42 |
| IV.7 Etude comparative | 50 |
| IV.7.1 La comparaison commerciale | 50 |
| IV.7.2 La Comparaison environnementale | 52 |
| IV.8 Conclusion | 52 |
| Conclusion générale | 53 |
| Références Bibliographiques | 54 |

INTRODUCTION GENERALE

Le pétrole ou les hydrocarbures sont considérés généralement comme les piliers de l'économie mondiale, notamment en Algérie; le pétrole brut est le cœur de l'industrie algérienne, c'est le produit de base de toute l'industrie du pays et en même temps la rente essentielle de notre économie, ce qui a incité les responsables de notre pays a accordé une place privilégiée pour ce produit énergétique tant convoité à l'échelle mondiale [1].

Les produits issus du raffinage du pétrole qui sont des mélanges complexes d'hydrocarbures ne peuvent être définis ou caractérisés que par des spécifications fixant un certain nombre de propriétés ou qualités qu'ils devront satisfaire. Les carburants et les combustibles constituent environ 80% des produits issus du traitement de pétrole et qui peuvent être classés en fonction de leurs masses moléculaires ou leurs points d'ébullition. Parmi les principaux carburants disponibles dans le marché on peut distinguer l'essence normale et le supercarburant, ces deux carburants sont considérés comme des sources de pollution de l'environnement [1].

Le plomb est une substance dangereuse potentiellement cumulative et nocif quel que soit l'âge d'ingestion. En conséquence les gouvernements interdisent l'utilisation d'additifs au plomb dans l'essence. En Algérie, SONATRACH a produit et a commercialisé l'essence sans plomb depuis 2009, une restructuration des raffineries est en cours permettant d'améliorer les capacités de raffinage qui sont actuellement de l'ordre de 21 millions de tonnes. Le coût de la réhabilitation en cours est de 3 milliards de dollars et permettra d'augmenter les capacités de 26 millions de tonnes de plus, alors qu'avec la réception de la nouvelle raffinerie de Tiaret en 2015 , les capacités passeront de 21 à 46 millions de tonnes par an . La production des essences, à la fois en quantité suffisante pour satisfaire les besoins du marché et en qualité conforme aux normes environnementales, est depuis longtemps constitue un problème principal auquel l'industrie du raffinage doit faire face [1].

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'effet de l'ajout de l'éthanol, un additif respectueux de l'environnement, sur les propriétés de l'essence fabriquée à la raffinerie de Skikda RA1K afin d'étudier la possibilité de substituer le MTBE qui est un produit toxique.

Le présent manuscrit est structuré en quatre chapitres :

- Le premier chapitre présente des généralités sur les essences;

- Le deuxième chapitre décrit les différents procédés de fabrication de l'essence;
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation de l'unité du stage;
- Le quatrième chapitre englobe l'ensemble des résultats obtenus et leur discussion.

La conclusion générale résume l'ensemble des résultats obtenus.

Chapitre I

Généralités sur les essences

I.1 Introduction

Un carburant est un combustible qui, mélangé à un comburant, permet de mettre en combustion rapide un mélange gazeux dans un moteur (moteur à combustion interne, moteur-fusée, etc.) en transformant l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique ou en poussée.

La principale caractéristique des carburants est d'avoir une grande densité énergétique, c'est-à-dire qu'ils contiennent beaucoup d'énergie pour une masse ou un volume réduits, ce qui accorde au système motorisé une grande autonomie. De nombreux produits pétroliers sont utilisés comme carburant dans de nombreux moteurs, dont le plus important est l'essence.

Les véhicules à essence plombée rejettent des polluants qui ont un effet nocif sur l'environnement et la santé humaine, pour cela les industries des carburants doivent aboutir à des modifications concernant la formulation des carburants, pour produire des supercarburants plus propres. De ce fait, la suppression complète du plomb des essences est devenue une nécessité, qui a entraîné les raffineurs à fournir d'importants efforts afin de maintenir l'indice d'octane à un niveau satisfaisant. Des solutions ont été trouvées, c'est celles d'adapter des stratégies plus fiables en installant de nouvelles unités comme l'unité de reformage catalytique et d'incorporer des produits oxygénés comme le MTBE permettant de réduire les concentrations des composants polluants et d'accroître l'indice d'octane [2].

I.2 Définition de l'essence

Le terme général « essence » désigne l'ensemble des carburants utilisés dans les moteurs à allumage commandé par étincelle, dits «à explosion» [6]. L'essence est constituée essentiellement d'un mélange complexe d'hydrocarbures comprenant des paraffines, des composés aromatiques, des oléfines et des composés soufrés. De nombreux types d'essence sont fabriqués et sont disponibles :

- Entre 20% à 30% d'alcane, hydrocarbures saturés de formule C_nH_{2n+2} ;
- Vers 5% de cyclo alcane, hydrocarbures saturés cycliques ;
- Entre 30% à 45% d'alcènes, hydrocarbures insaturés ;
- Entre 30% à 45% d'hydrocarbures aromatiques, de la famille du benzène, etc [10].

I.3 Types d'essence

C'est l'indice d'octane qui différencie réellement un type de carburant d'un autre. Et l'indice d'octane n'a absolument rien à voir avec la qualité, cette mesure fait plutôt référence à la résistance d'un carburant.

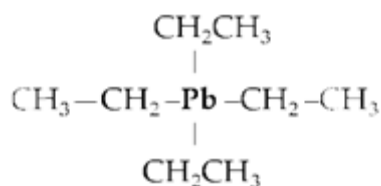
I.3.1 Essence normale

Elle est composée essentiellement d'un mélange d'hydrocarbures de structures variées (paraffiniques, oléfiniques, naphthéniques, aromatiques (4% de benzène)) distillant à moins de 205 °C, auquel est ajouté un dope antidétonant à base de plomb. L'efficacité de la combustion est caractérisée par l'indice d'octane situé entre 89 et 92 [1].

I.3.1.1 Additif de Plomb (PTE)

Le tétraéthyle de plomb (PTE) est un composé organométallique du plomb, de formule $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$, employé pour améliorer l'indice d'octane des essences, c'est un liquide incolore, huileux, d'odeur caractéristique et très toxique. Il est ajouté aux essences pour deux raisons : d'abord il sert à lubrifier les soupapes des moteurs, et joue le rôle d'agent antidétonant, en évitant l'explosion trop tôt du mélange air -essence. Cette caractéristique est symbolisée par l'indice d'octane. Avec l'évolution des moteurs à essence, l'additif de plomb est devenu de plus en plus nécessaire, ce qui se traduit par une augmentation de l'indice d'octane.

Avant les années 30, l'essence ne contenait pas de plomb, ce qui nécessitait de rectifier les sièges de soupapes (les frettes) et de les roder tous les 15 000 km. L'adjonction du plomb a supprimé cette contrainte. Les particules de plomb se déposant sur les frettes agissaient comme des coussins amortisseurs. L'usure provoquée par le choc soupape/siège a diminué de manière importante. Noter que le plomb a également permis d'augmenter l'indice d'octane, autorisant ainsi des taux de compression plus élevés et donc de meilleurs rendements des moteurs [3].



Tétra-Éthyle de Plomb

I.3.2 Le supercarburant

Il est de même nature que l'essence ordinaire, mais obtenu par un procédé de raffinage spécial afin d'améliorer l'indice d'octane qui est de 97 à 99. Sa composition diffère de l'essence ordinaire par la teneur en benzène plus élevée (4 à 6 %) due à la diminution du taux de plomb, la teneur en soufre plus élevée (0,5 %) [1].

I.3.3 Essence sans plomb

L'essence sans plomb est principalement un mélange d'hydrocarbures et de composés oxygénés. Les essences sans plomb sont apparues en Europe et en France à partir de 1988. Le sans plomb a totalement supplanté le super avec plomb. Les additifs utilisés sont le MTBE (methyl tertio butyl éther), additif le plus employé, et le benzène, ajouté en vue d'améliorer l'indice d'octane.

Compte tenu de la forte toxicité de ce dernier, sa teneur est légalement limitée (1 % depuis 2000) [1].

I.4 Propriétés physico-chimiques des essences

I.4.1 Propriétés physiques

I.4.1.1 Masse volumique (Densité)

La masse volumique est définie comme la masse de substance occupant l'unité de volume à une température de 15°C, 15,5°C, 20°C. L'unité de la densité dans le système international(S.I) est le kilogramme par mètre cube (kg/m^3); la mesure de la densité fait l'objet de la norme (NF-T60-101). La densité est définie comme le rapport du poids d'un certain volume d'échantillon à une température T au poids de même volume d'eau à une température standard. Le choix de l'état standard à 4°C permet l'identification des chiffres qui mesurent la densité et la masse volumique. Mais on peut déterminer la densité à n'importe quelle température et calculer ensuite la valeur de ρ_4^{20} selon la formule :

$$\rho_4^{20} = \rho_4^t + K(t - 20)$$

Ou ρ_4^t est la densité à la température de l'essai, K est le coefficient de dilatation volumétrique (ses valeurs sont données dans la littérature), t est la température de l'essai en degré Celsius (°C) [8].

I.4.1.2 La distillation ASTM

La courbe de distillation d'une essence représente l'évolution de la fraction distillée en volume, à pression atmosphérique, en fonction de la température. Cet essai fait l'objet des normes suivantes : NF M07-002 pour les produits légers jusqu'au kérosène, et NF M07-009 pour les produits lourds (gasoil et fuel-oil). La norme anglo-saxonne correspondante est D 86. La distillation consiste à chauffer un liquide jusqu'à son point d'ébullition, puis condenser les vapeurs produites, en repérant la température pour différents volumes condensés.

Elle est caractérisée par :

- Le point initial P_i : température à laquelle la première goutte tombe du condenseur.
- Le point final P_f : température maximale relevée au cours de la distillation, généralement observée après la vaporisation de la dernière goutte de liquide[1].

I.4.1.3 Indice de réfraction

Les rayons lumineux changent leur vitesse et direction en passant d'un milieu à un autre, ce phénomène est appelé réfraction. C'est le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence (i) et celui de l'angle de réfraction (r) pour une radiation qui traverse le produit.

$$n = \sin(i)/\sin(r)$$

Le test de mesure de cette propriété couvre l'intervalle des indices compris entre 1,33 et 1,60. Il est régi par la norme ASTM D1218 qui utilise le réfractomètre d'ABBE [1].

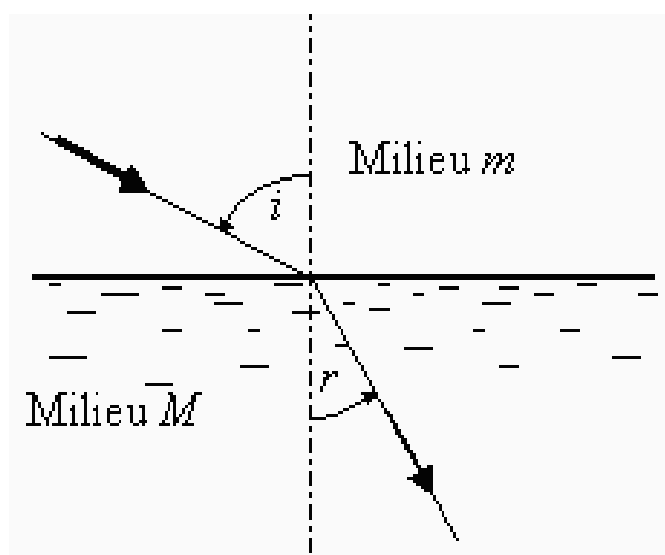


Figure I.1 : Description du principe de la réfraction[13].

I.4.1.4 La tension de vapeur Reid (TVR)

Cette caractéristique mesure l'aptitude plus ou moins prononcée d'un carburant à émettre des vapeurs (importance de la proportion du point 10% ASTM).

Les spécifications de la Tension de Vapeur Reid imposent un maximum à ne pas dépasser : 800 g/cm² en hiver et 650 g/cm² en été. Les éléments volatils favorisent le démarrage à froid en hiver, mais risquent de provoquer le givrage du carburant pendant la mise en température du moteur, par suite de l'humidité atmosphérique. On remédie à cet inconvénient en limitant la TVR et en ajoutant des additifs antigivre (ou antigel) à l'essence. De même en été, une trop forte proportion d'hydrocarbures légers peut provoquer l'arrêt du moteur par formation d'un bouchon de vapeur ou « vapor lock » [6].

I.4.1.5 Le point d'écoulement

Le point d'écoulement est la température la plus basse à laquelle, dans des conditions normalisées, le carburant continue à s'écouler. Il est utilisé comme indicateur pour déterminer s'il est possible de pomper le carburant dans le moteur, même s'il ne peut être utilisé sans le réchauffer ou sans prendre d'autres mesures [11].

I.4.1.6 Viscosité

La viscosité cinématique caractérise la résistance qu'apportent les molécules à une force tendant à les déplacer les unes par rapport aux autres. Elle est définie comme le rapport de la viscosité absolue à la densité mesurée à la même température. Et son unité est exprimée en centistokes (Cst) [11].

I.4.1.7 Couleur

Les essences ont une couleur franche n'interférant pas avec la limpidité, mais en réalité plus au moins coloré depuis le jaune très pale jusqu'au brun foncé [1].

I.4.2 Propriétés chimiques

I.4.2.1 Teneur en eau et sédiments (BSW)

Les produits finis doivent être pratiquement exempts d'impuretés solides. Néanmoins, dans certains fuels on peut rencontrer des impuretés qui se séparent soit par dilution soit par centrifugation. L'échantillon à analyser est dilué avec du benzène et est centrifugé. Seules apparaîtront, outre l'eau, les impuretés insolubles, coke, sable et rouille. Pour des teneurs en

eau et sédiments comprises entre 0,5 et 1,5%, la reproductibilité est de 0,4. L'homogénéité de la prise d'échantillon doit être soigneusement vérifiée [7].

I.4.2.2 Teneur en sels

La teneur en sels dans les hydrocarbures est faible, de l'ordre de quelques dizaines de ppm. Les chlorures (de sodium, magnésium et calcium) sont presque toujours dominants. Malgré cette faible concentration, leur présence dans les produits pétroliers pose de sérieux problèmes de dépôts au niveau des parois des puits et dans les installations de raffinage. La mesure de la teneur en chlorure est obtenue par les normes NF M07-023, ASTM D3230 et IP 71/66 [1].

I.4.2.3 Point d'aniline

Le point d'aniline est défini comme étant la température la plus basse à laquelle des volumes égaux d'aniline et de produit à analyser sont complètement miscibles, la rupture de la miscibilité se manifeste par l'apparition d'un trouble net [8].

I.4.2.4 Point d'éclair

Il est défini par la température minimale à laquelle il faut porter l'huile pour que les vapeurs émises s'enflamment spontanément (s'éclaire) en présence d'une flamme dans des conditions normalisées. Le test de point d'éclair donne une indication de la présence de composés volatils dans l'huile et de la température à laquelle l'huile doit être chauffée dans des conditions spécifiques pour donner suffisamment de vapeur pour former un mélange inflammable avec l'air. Il existe différentes méthodes pour déterminer le point d'éclair des huiles telles qu'elles sont mentionnées dans la norme ASTM [7].

I.4.2.5 L'indice d'octane

L'indice d'octane mesure la capacité de résistance à l'auto-inflammation des carburants. On l'exprime par un nombre compris entre 0 et 100 correspondant à un mélange particulier de deux hydrocarbures: l'heptane normal doté par convention d'un indice zéro et l'isooctane (2.2.4-triméthyl pentane) très résistant d'indice 100.

Deux mesures d'indice d'octane permettent de classer la performance des carburants commercialisés en station-service :

- Indice d'Octane Recherche (Research Octane Number - RON) : reflète le comportement d'un carburant dans des conditions de bas régime moteur de vitesse: 600 tr/min.

- Indice d'Octane Moteur (Motor Octane Number- MON) : caractérise la résistance d'un carburant au cliquetis dans des conditions de régime élevé de vitesse: 900 tr/min.

La mesure des indices d'octane s'effectue au moyen d'un moteur de référence appelé CFR (Cooperative fuel research). En souvenir du groupe de travail constitué en 1928 aux États unis pour standardiser les méthodes de caractérisation des carburants [9].

I.4.2.5.1 Moteur CFR

La mesure des indices d'octane s'effectue au moyen d'un moteur de référence, appelé CFR (coopérative fuel research). C'est un moteur monocylindrique, qui représente une structure très robuste afin de résister sans incident à un cliquetis prolongé. Il fonctionne à pleine admission et à faible régime de rotation (600 ou 900 tr/mn). Le principe de la méthode consiste à augmenter progressivement le taux de compression du moteur CFR jusqu'à l'obtention d'une intensité standard de cliquetis repérée par un détecteur de pression implanté dans la chambre de combustion .

L'indice d'octane est calculé par l'interpolation linéaire, en déterminant le mélange primaire de référence présentant exactement le même comportement que le carburant testé [12].



Figure I.2 :Moteur CFR [16].

I.4.2.5.2 Paramètres affectant l'indice d'octane

D'une manière générale, l'indice d'octane augmente lorsque :

- la longueur des chaînes carbonées diminue.
- le nombre de chaînes secondaires augmente (pour un même nombre d'atomes de carbone)
- le nombre de structures cycliques (cyclo alcanes et aromatiques) augmente.

L'indice d'octane peut également être amélioré par l'utilisation d'additifs. Dans ce domaine les composés organométalliques sont les plus efficaces, mais les plus toxiques [9].

I.4.2.5.3 Incidence de l'indice d'octane sur le fonctionnement des moteurs

La valeur de l'indice d'octane de l'essence à utiliser est conditionnée par le taux de compression du moteur. Ce dernier est défini comme un rapport entre le volume de la chambre de combustion lorsque le piston est à sa position la plus basse et celui de la chambre lorsque le piston est à sa position la plus haute. Plus le taux de comprissions est élevé, plus l'indice d'octane doit être élevé.

L'incidence directe d'un taux de compression élevé est que le rendement est amélioré, mais les contraintes deviennent plus importantes dans la chambre de combustion.

L'augmentation de la pression augmente la température des gaz qui, en cas de surpression, n'attendent plus l'étincelle de la bougie pour s'enflammer. On parle alors d'auto-inflammation ou auto-allumage. Afin de combattre ces détonations destructrices pour les pistons, l'essence est dopée avec des additifs antidétonants [9].

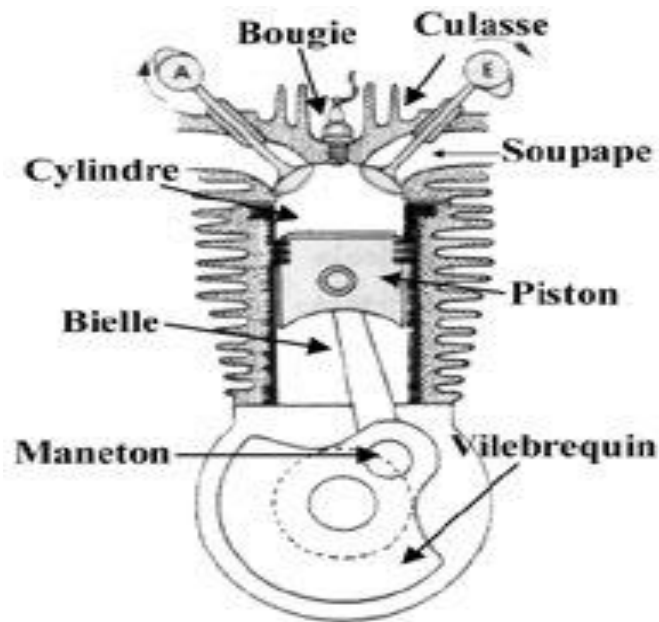


Figure I.3: Schéma de principe de fonctionnement d'un moteur

I.5 Spécifications des supercarburants

En raison de contraintes environnementales, les spécifications internationales des essences continuent d'évoluer vers des essences propres. De plus, les nouvelles technologies automobiles exigent d'autres changements quant aux spécifications des essences. On assiste, dans les pays développés, à la suppression progressive du plomb, à l'introduction de produits oxygénés (alcoolset éthers), à la diminution des concentrations en soufre .

Les spécifications des essences en Algérie conformément à la norme NA 8108-1992 sont représentées dans le tableau suivant [6] :

Tableau I.1: Spécifications des essences (Essences NA 8108 - 1992) [6].

| Caractéristiques | Essence normale | Essence Super-Ethylée | Essence Super Sans Plomb |
|--|------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Densité à 15°C | 0,715-0,765 | 0,7300-0,7700 | 0,7300-0,7800 |
| NOR NOM | 89,0 Min | NOR NOM | 89,0 Min |
| Teneur en Plomb (g/l) | 0,65 Max | 0,65 Max | 0,013 Max |
| Teneur en benzène (% Vol) | - | - | - |
| Point d'éclair °C | - | - | - |
| Teneur en soufre (% Pds) | 0,15 Max | 0,15 Max | 0,15 Max |
| Période d'induction | 360 min | 360 min | 360 min |
| Stabilité à l'oxydation Corrosion à lame de cuivre | Classe 1 | Classe 1 | Classe 1 |
| Couleur | Non colorée | Non colorée | Non colorée |
| Distillation (% Vol) 10% | | | |
| 10% | 70 Max | 70 Max | 70 Max |
| 50% | 140 Max | 140 Max | 140 Max |
| 95% | 195 Max | 195 Max | 195 Max |
| PF | 205 | 205 | 205 |
| Résidu (% Vol) | 2,5 max | 2,5 max | 2,5 max |
| Doctor Test | Négatif | Négatif | Négatif |
| Aromatique (% Vol) | - | - | - |
| Tension de Vapeur Reid (Kg/cm ³) | | | |
| Hiver | 0,800 | 0,800 | 0,800 |
| Été | 0,650 | 0,650 | 0,650 |

I.6 Essence sans plomb

C'est une essence exempte de plomb qui possède un indice d'octane de 95 pour l'ordinaire et 98 pour le super, La protection de l'environnement et la lutte contre la pollution ont conduit la plupart des pays à adopter des normes très sévères pour éliminer les essences plombées [3].

I.6.1 Effets du plomb sur la santé

Le plomb est le plus étudié des toxines dangereuses pour l'homme et la quantité de preuves démontrant ses effets destructeurs sur la santé et l'environnement est accablant.

Mesure de l'exposition au plomb au nourrissons, enfants et autres populations sensibles. À des hauts degrés d'intoxication, le saturnisme provoque le coma, des convulsions et la mort. Chez les enfants, des niveaux d'intoxication trop bas provoquant des diminutions de la capacité intellectuelle et de la capacité de concentration, ainsi que des troubles de la lecture et de l'apprentissage, des problèmes de comportement, des troubles de la croissance et des pertes d'acuité auditive.

Chez les adultes, le saturnisme provoque une augmentation de la tension artérielle, des lésions du foie et des reins et une diminution de la fécondité.

Des études ont démontré la corrélation directe, au niveau des populations, entre l'utilisation de l'essence au plomb et les taux de plomb dans le sang. Aux États-Unis, l'élimination quasi totale de l'essence au plomb a permis une baisse de 77 % du taux moyen de plomb dans le sang parmi la population, entre 1976 et 1991. Au Royaume-Uni, une baisse de 50 % des taux de plomb dans l'essence a provoqué une baisse de 20 % des taux de plomb dans le sang [14].

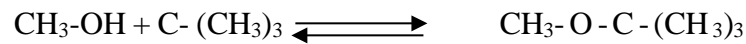
I.6.2 Additifs de l'essence sans plomb

I.6.2.1 MBTE

Les éthers oxygénés et les alcools sont les additifs les plus utilisés pour augmenter le nombre d'octane de l'essence et pour combattre les problèmes de pollution de l'air. Les composés oxygénés utilisés sont méthyl tert-butyl éther (MTBE), l'éthyle tert-butyl éther (ETBE) et le tertio-amyl méthyl-éther (TAME). Parmi ces oxygénations, MTBE semble être le choix le plus efficace parce que ses propriétés physiques, chimiques et thermiques sont compatibles avec celles de l'essence, en particulier dans la gamme d'ébullition où l'essence montre généralement les caractéristiques antidétonantes les plus faibles [17].

Le MTBE est une simple molécule de cinq atomes de carbone classé comme alkyl éther. II

a une teneur en oxygène de 18% poids, un indice d'octane de 110 et une tension de vapeur de 8 psi. C'est un additif qui, rajouté à une essence, augmente son indice d'octane, il améliore aussi la combustion parce qu'il contient un atome d'oxygène. De plus, il est miscible en toute proportion à l'essence, à la différence du méthanol ou de l'éthanol. Le MTBE est obtenu à partir de l'isobutane contenu dans une coupe C4 et de méthanol, selon la réaction suivante :



Le MTBE, incorporé à une essence, n'entraîne pas les inconvénients de démixtion ni l'accroissement de la volatilité observé avec le méthanol. Par ailleurs, le MTBE présente des indices d'octane de mélange très élevé 115 à 120, il est non-corrosif et relativement bon marché. La plupart des raffineurs ont choisi le MTBE par rapport aux autres composés oxygénés principalement pour ses caractéristiques de mélange et à faible coût.

Malgré tous les avantages que nous avons cités, le MTBE présente un problème majeur, qui est sa migration vers les nappes phréatiques qui va polluer l'eau (ce produit a vu son interdiction ces dernières années aux Etats-Unis). En Europe cela fait quelques années que les usines de MTBE produisent. Mais il est probable que ces usines soient arrêtées comme aux Etats Unis [18].

I.6.2.2 L'éthanol

De la classe des alcools primaires, l'éthanol de formule $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-OH}$ à usage des boissons et usage industriel, est obtenu par fermentation de solutions sucrées, naturelles (jus de raisin, canne à sucre, etc.) ou artificielles (hydrolyse de l'amidon). La majeure partie de l'éthanol à usage industriel est synthétisé à partir de l'éthanal ou de l'éthylène issu du pétrole.

L'éthanol a une température de fusion de $-114,1^\circ\text{C}$, une température d'ébullition de $78,3^\circ\text{C}$ et une densité de 0,789 à 20°C . L'éthanol est plus soluble mais moins réactif que le méthanol ce qui a un impact positif sur le Rendement mais négatif sur la vitesse lors des réactions de transestérification [28].

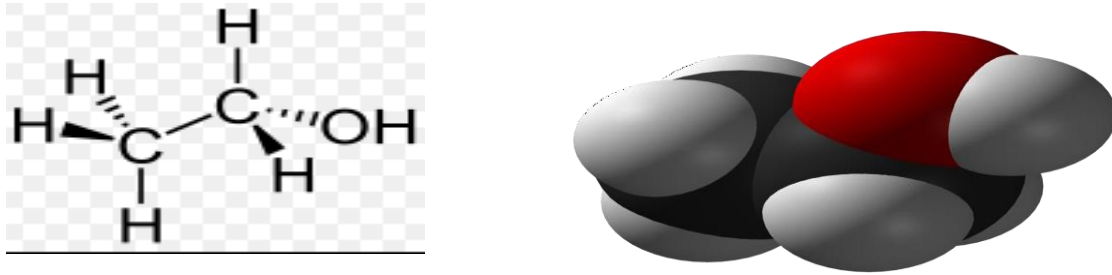


Figure I.4 : la molécule d'éthanol [28].

I.6.2.2.1 Avantages de l'éthanol

- Gain d'indice d'octane : L'éthanol, ajouté à raison de 5 à 10% dans les essences, présentes des indices d'octane de mélange atteignant respectivement 120-125 pour le RON, 95 à 100 pour le MON.
- Volatilité : L'introduction de l'éthanol dans l'essence entraîne un accroissement de la tension de vapeur (TVR). L'accroissement enregistré, pour des teneurs en éthanol égal ou supérieur à 3%, est de l'ordre de 60 à 80 mbar. On note qu'une essence à 5% d'éthanol devra contenir à volatilité égale, 1% de moins de coupes C₄ qu'une essence classique. Cette contrainte tend à réduire le nombre d'octane puisque le butane présente une bonne résistance aux cliquetis.
- Émission de polluants : Le fait que l'éthanol contient de l'oxygène constitue un facteur favorable pour la réduction des émissions de certains polluants (monoxyde de carbone, hydrocarbures imbrûlés, particules). Par ailleurs, ce produit diminue, dans la formulation des carburants, la teneur en constituants comme les aromatiques et les oléfines, générateurs de polluants [6].

I.6.2.2.2 Inconvénients de l'éthanol

L'éthanol est un solvant, il présente une affinité vis-à-vis de l'eau. De ce fait, il est souhaitable de ne pas le transporter par pipe (coût très élevé). Toutefois, il existe deux alternatives, soit par citerne soit par trains directement au terminal. Aussi, l'addition de l'éthanol peut contribuer à accroître l'encrassement des soupapes d'admission [6].

I.6.3 Avantage de l'essence sans plomb

L'essence sans plomb est moins polluante pour l'environnement que l'essence plombée, et offre de meilleures performances pour les moteurs du fait de sa richesse en octane. L'essence sans plomb est, principalement, un mélange d'hydrocarbures (non ou faiblement miscible à

l'eau) et de composés «oxygénés» (éthanol, éthers substitués...) plus ou moins solubles dans l'eau, de couleur jaune très pâle, transparente, elle est fortement odorante, facilement inflammable et très volatile (pression de vapeur : 35 - 90 kPa à 20°C).

Les avantages de l'introduction de l'essence sans plomb dans les véhicules munis ou non d'un pot catalytique sont nombreux :

- ✓ Réduction importante des émissions des gaz nocifs qui polluent l'atmosphère.
- ✓ Réduction d'infiltration des composés de plomb dans le sol et les eaux de surfaces et souterraines.
- ✓ Plus économique pour les automobilistes, en matière d'entretien (intervalle prolongé entre les vidanges d'huile, bougies d'allumage plus propres ...etc.).

Par ailleurs, il est à noter que les essences sans plomb contiennent des quantités importantes de composants aromatiques qui sont dangereux pour la santé [4].

Chapitre II

procédés de fabrication

II.1 Introduction

L'essence est l'un des produits les plus raffinés qui sortent de la raffinerie. Elle est le résultat du mélange des produits de diverses opérations de raffinage, notamment les produits des réactions d'isomérisation, de reformage catalytique et de distillation. Les essences issues de ces procédés ont des caractéristiques différentes et doivent être subies à des traitements ultérieurs pour améliorer leurs performances, à savoir l'indice d'octane.

II.2 Procédés de fabrication

II.2.1 Distillation

La distillation est un procédé de séparation des composants d'un mélange liquide en fonction de leurs différences de volatilité. Elle est couramment utilisée pour séparer les hydrocarbures du pétrole brut et produire diverses essences et produits pétroliers. Le principe de base de la distillation repose sur le chauffage du mélange liquide dans une colonne de distillation, où les composants se vaporisent à des températures spécifiques et sont ensuite condensés en fractions distinctes en fonction de leur température d'ébullition. Les essences ainsi obtenues sont ensuite utilisées comme matières premières pour la production de carburants, de solvants et d'autres produits chimiques .

II.2.1.1 Distillation atmosphérique

Le pétrole est chauffé à 350°C, puis distillé dans une colonne de 40-60m de hauteur. Les produits sont séparés selon la température d'ébullition la pression est d'environ 1 à 3 atm. Les produits légers sont collectés en haut du puits tandis que les produits les plus lourds sont concentrés en bas du puits. Les HC lourds restent sous forme liquide au même temps les molécules petites ou moyenne passent à la tête de la colonne. Au fur et à mesure qu'il monte, il se refroidit à l'état liquide et est collecté en différentes phases sur des plateaux. A chaque étage il y a une température entre la condensation et l'évaporation des produits que vous souhaitez récupérer (Fig. II.1) [19].

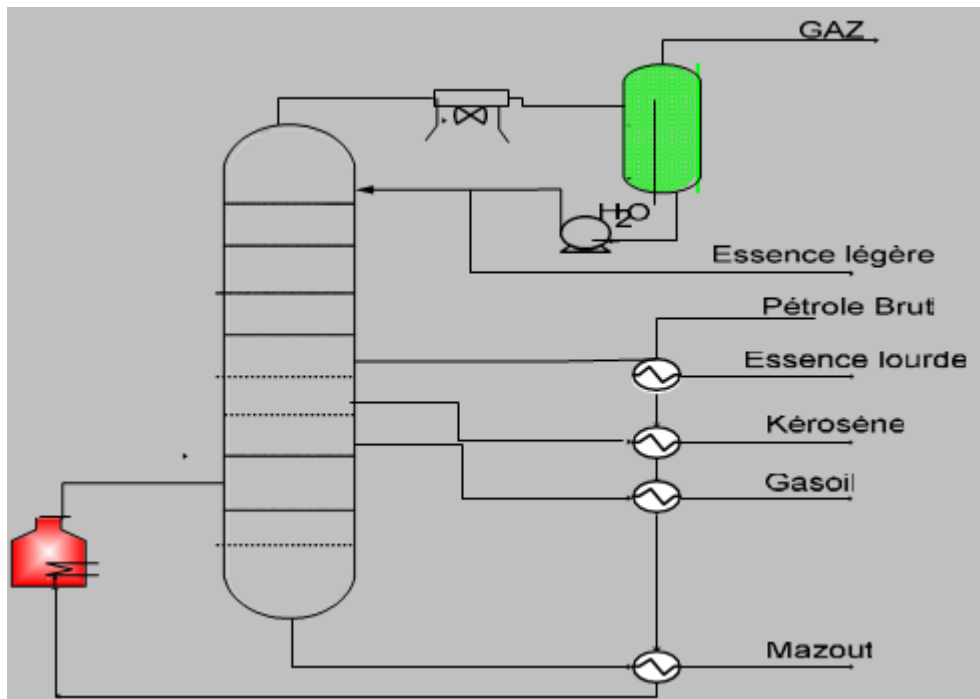


Figure II.1: Schéma de distillation ATM avec une seule colonne [19].

II.2.1.2 Méthodes de distillation

Nous pouvons diviser les méthodes de distillation en méthodes selon :

- La nature du pétrole brut à traiter.
- Les produits à obtenir.

II.2.1.2.1 Distillation sur une seule colonne

Ce type est utilisé généralement pour les pétroles lourds peu sulfureux. Ce type il contient un schéma simple et On peut utiliser petite température, pour la séparation du pétrole. Mais ça capacité est faible. Et ne traite pas les pétroles légers[20].

II.2.1.2.2 Distillation avec un colonne de pré distillation

La charge entrée est pétrole brut riche en fractions légères sulfureux.

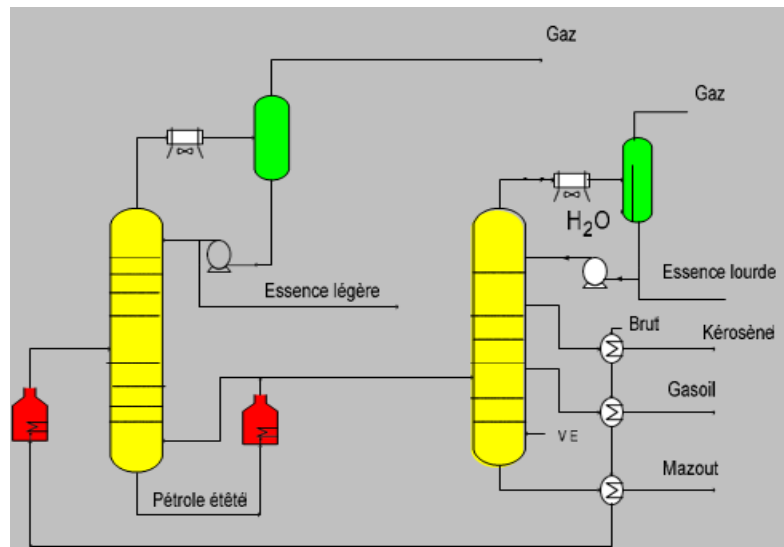


Figure II.2: Schéma de distillation ATM avec une colonne de pré distillation [19].

Ce procédé est simple et leur capacité est grand aussi il peut traiter le pétrole instable très sulfureux. Mais la température à la sortie du four est grande aussi une consommation élevée d'énergie [20].

II.2.1.2.3 Distillation avec un ballon de flash

La charge entrée dans ce procédé est le pétrole léger qui contient moins que 1.5 pour cent des gaz dissous. Mais ne traite pas les pétroles qui contiennent une grande quantité de soufre. Ce type de distillation Caractéristiques de Grande capacité mais L'évaporation préalable de fraction léger du pétrole brut fait le contraire [20].

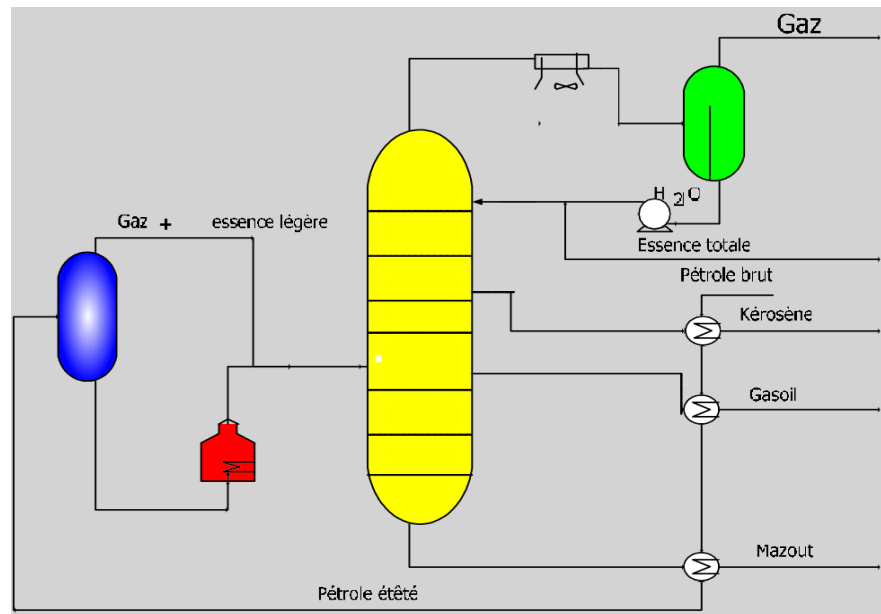


Figure II.3: Schéma de distillation ATM avec évaporation préalable [20].

II.2.1.3 Distillation sous vide

Comme son nom l'indique, la distillation sous vide (distillation à basse température) implique de mettre la colonne de distillation sous vide ou à une pression atmosphérique nettement inférieure à 760 millimètres de mercure (mm Hg). À basse pression, le point d'ébullition des résidus de l'unité de distillation atmosphérique est suffisamment bas pour permettre aux produits plus légers d'être vaporisés, sans craquage ou dégradation du pétrole. La distillation sous vide produit plusieurs types de gazoles. Au cours de l'étape de raffinage suivante, ces gazoles sont plus amplement raffinés pour obtenir des produits tels que de l'huile légère de recyclage, de l'essence et du naphtha. La colonne sous vide utilise un ensemble de pompes, montées autour de l'arbre, pour maintenir la température au niveau approprié à des points spécifiques le long de la tour, pour une efficacité optimale. Les pompes sont commandées par des électrovannes pour éviter de gaspiller de l'eau lorsque leur moteur ne tourne pas [20].

II.2.2 Le reformage catalytique

En général, le processus de réformation catalytique produit des arômes contenant 6 à 10 atomes de carbone, avec un maximum de 7, 8 ou 9 atomes. Une partie de la charge se compose de paraffines ou de naphthènes avec le nombre équivalent d'atomes de carbone.

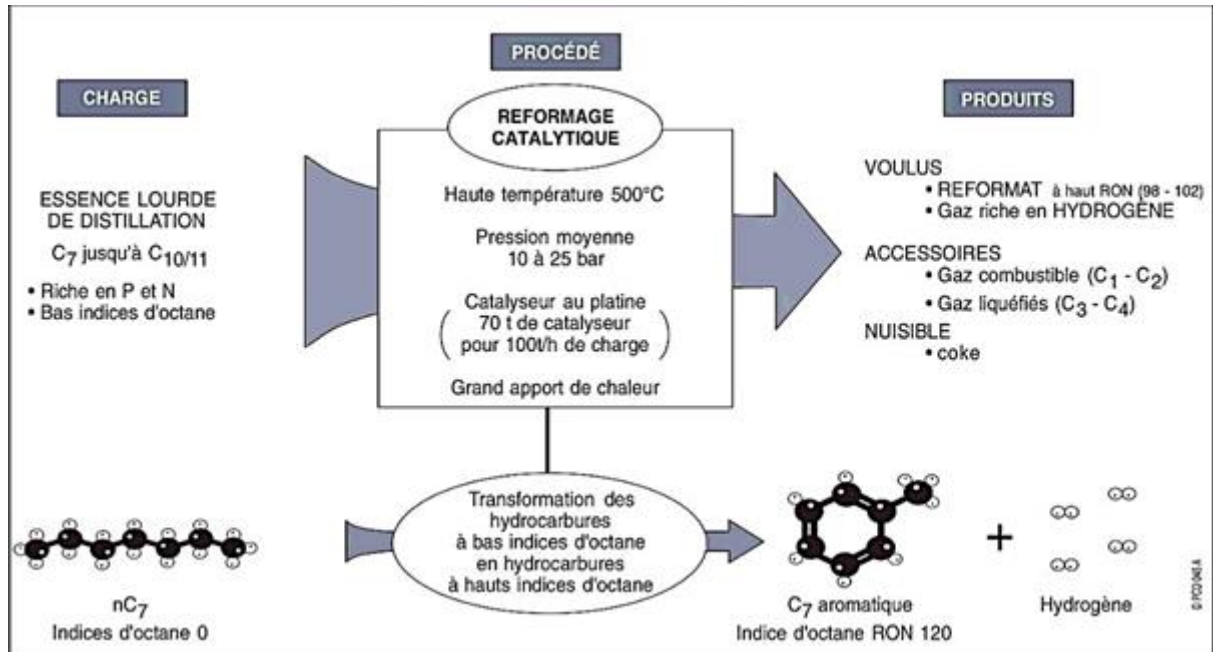


Figure II.4: Principe de reformage catalytique

II.2.2.1 Catalyseurs du reformage catalytique

Les catalyseurs de reformage qui restent actuellement les plus utilisés à l'échelle industrielle sont le platine sur alumine chlorée $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ et le bimétallique $\text{Pt-Re}/\text{Al}_2\text{O}_3$. Le monométallique est préparé par imprégnation d'un gamma alumine par une solution d'acide hexachloroplatinique H_2PtCl_6 , appelé précurseur, solution stable seulement dans un environnement acide obtenu par addition de HCl . Pour le bimétallique $\text{Pt-Re}/\text{Al}_2\text{O}_3$, on procède généralement à une imprégnation successive du gamma alumine par une solution du précurseur H_2PtCl_6 suivie par celle du précurseur NH_4ReO_4 [24].

II.2.2.2 Réactions élémentaires du reformage catalytique

II.2.2.2.1 Déshydrogénation des cyclanes en hydrocarbures aromatiques

Cette réaction est très endothermique ($\Delta H = 210 \text{ kJ/mol}$) et s'accompagne d'une augmentation du nombre de moles; elle est ainsi réalisée par une augmentation de la

température et une diminution de la pression. En outre, la vitesse de réaction diminue à mesure que le nombre d'atomes de carbone dans la charge augmente.

Un exemple de cette réaction est donné ci-dessous, celui de la déshydrogénation du Cyclohexane en benzène :

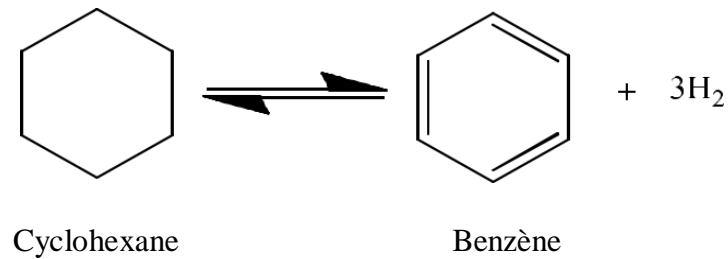


Figure II.5 : Déshydrogénation du cyclohexane en benzène.

II.2.2.2 Isomérisation des n-paraffines en isoparaffines et des alkylcyclopentanes en alkylcyclohexanes

L'isomérisation, qui est quelque peu exothermique ($\Delta H = -10$ à -20 kJ / mol), se produit rapidement dans des conditions de fonctionnement normales. En conséquence, elle est moins sensible aux changements de température et insensible à la pression [21].

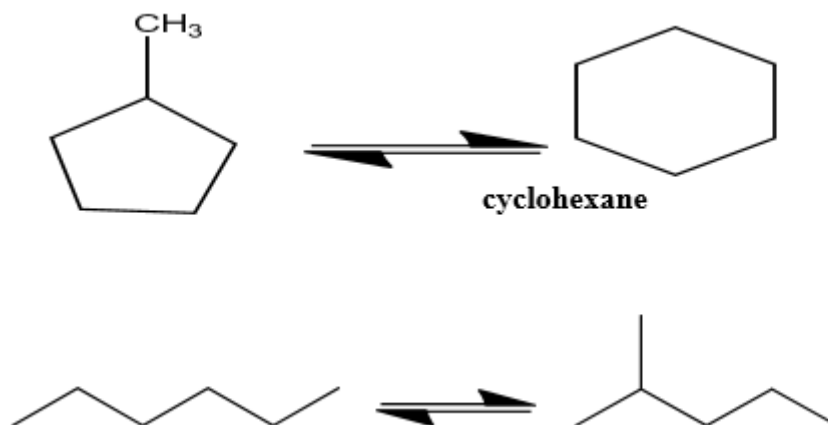


Figure II.6 : Isomérisation des n-paraffines en isoparaffines.

II.2.2.2.3 Hydrocraquage

Il s'agit d'une réaction exothermique ($\Delta H = - 40 \text{ kJ / mol}$), complète thermodynamiquement dans des conditions de fonctionnement normales, mais limitée par une vitesse de réaction lente. Lorsque la température augmente, ce processus peut devenir plus essentiel que l'isomérisation et la déshydrogénation. Elle devient de plus en plus importante à mesure que la concentration de composés aromatiques augmente [23].

II.2.2.2.4 Formation de coke

Cette réaction est le résultat de craquage des hydrocarbures aux hautes températures et basse pression. Elle est l'une des réactions parasites les plus dangereuses car elle diminue l'activité des catalyseurs [23].

II.2.2.3 Hydrotraitement ou prétraitement de naphta

L'objectif principal de l'unité d'hydrotraitement est l'épuration du naphta pour que celle-ci puisse être utilisée comme charge à l'unité de reformage catalytique [24].

Hydrotraitement est un procédé catalytique à base d'hydrogène qui permet d'éliminer les impuretés contenues dans les coupes pétrolières, telle que S, O et N sous la forme d' H_2S , d' H_2O et d' NH_3 .

II.2.2.3.1 Réactions de l'hydrotraitement

Les procédés d'hydrotraitement varient selon les charges et les catalyseurs:

- **L'Hydrodézazotation:** permet d'éliminer les composés azotés contenus dans les coupes pétrolières.



- **Hydrodésulfuration:** élimine le soufre présent dans le naphta, réduit les composés aromatiques et les caractéristiques de formation de gommages et sature les oléfines[21] .

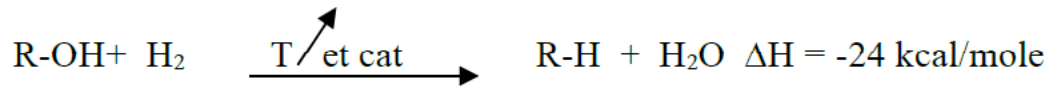


T= 300 °C, P=30 bar

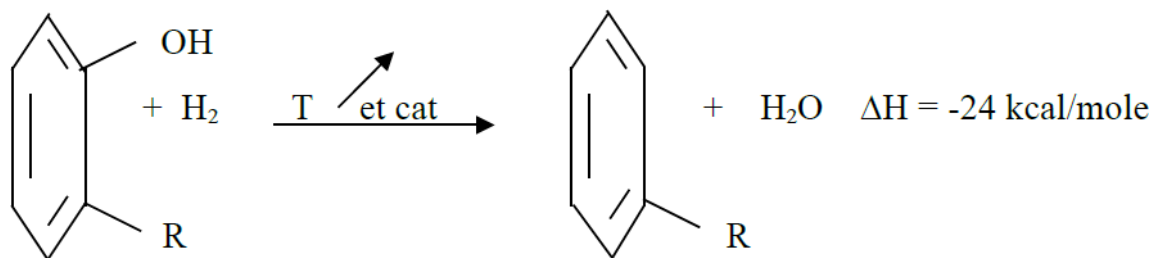


- **Elimination d'oxygène** : L'oxygène qui a été combiné organiquement, comme le phénol, est retiré de l'unité naphtha par hydrogénation du pont hydroxy-carbone, ce qui entraîne l'eau et les molécules aromatiques correspondantes [21].

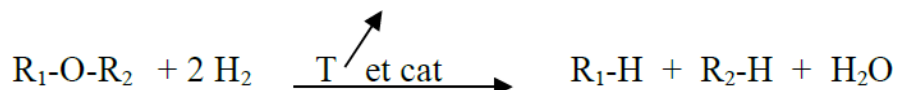
- **Alcool**



- **Phénol**



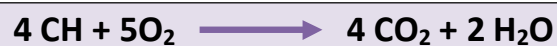
- **Ether**



II.2.2.4 Régénération du catalyseur

II.2.2.4.1 Combustion du coke

C'est l'élimination par combustion du coke déposé sur la surface du catalyseur caractérisée par la réaction suivante [27] :



II.2.2.4.2 L'oxychloration

Le but de cette phase de l'oxychloration, est de redisperser les métaux précieux (Pt, Rh) sur la surface de l'alumine Al_2O_3 afin de restaurer l'activité initiale de la fonction Hydro - déshydrogénant du catalyseur.

L'oxychloration est une attaque chimique à haute température des cristallites du platine par l'oxygène et du chlore injecté avec la formation d'espaces métalliques ou oxychlorures (catalyseur jaune) qui migrent sur la surface de l'alumine et se fixent sur les sites libres de l'alumine en assurant la dispersion des métaux (cette opération est réalisée lorsque tout le coke déposé a été parfaitement éliminé pendant la combustion).

La régénération, ou l'entretien de l'unité le système doit se trouver dans les conditions suivantes :

- $T^{\circ}C$ entrées réacteurs = $482^{\circ}C$
- Teneur en $[O_2]$ du gaz de recyclage = 5,0% molaire
- Débit de gaz dans le système au taux maximum

II.2.2.4.3 La réduction

L'étape de réduction a pour but la transformation des oxychlorures de platine redispersés à la surface de l'alumine pendant l'oxychloration en platine métallique (redispersion initiale du métal). Cette transformation est réalisée par la réaction chimique suivante qui consomme de l'hydrogène (pur) comme réactif et produit aussi de l'eau .



La présence de l'eau lors de la réduction favorise l'agglomération du platine (mauvaise redispersion) dans ces cas drainé l'eau en continu dans les points bas du circuit .

II.2.2.4.4 Sulfuration (Presulfiding)

La sulfuration du catalyseur est l'étape de l'injection du DMDS (Disulfure de diméthyle) qui vient juste après l'étape de réduction. Elle est nécessaire pour diminuer temporairement la trop forte activité des métaux (Pt, Rh) qui a été formée durant la phase de réduction [27].

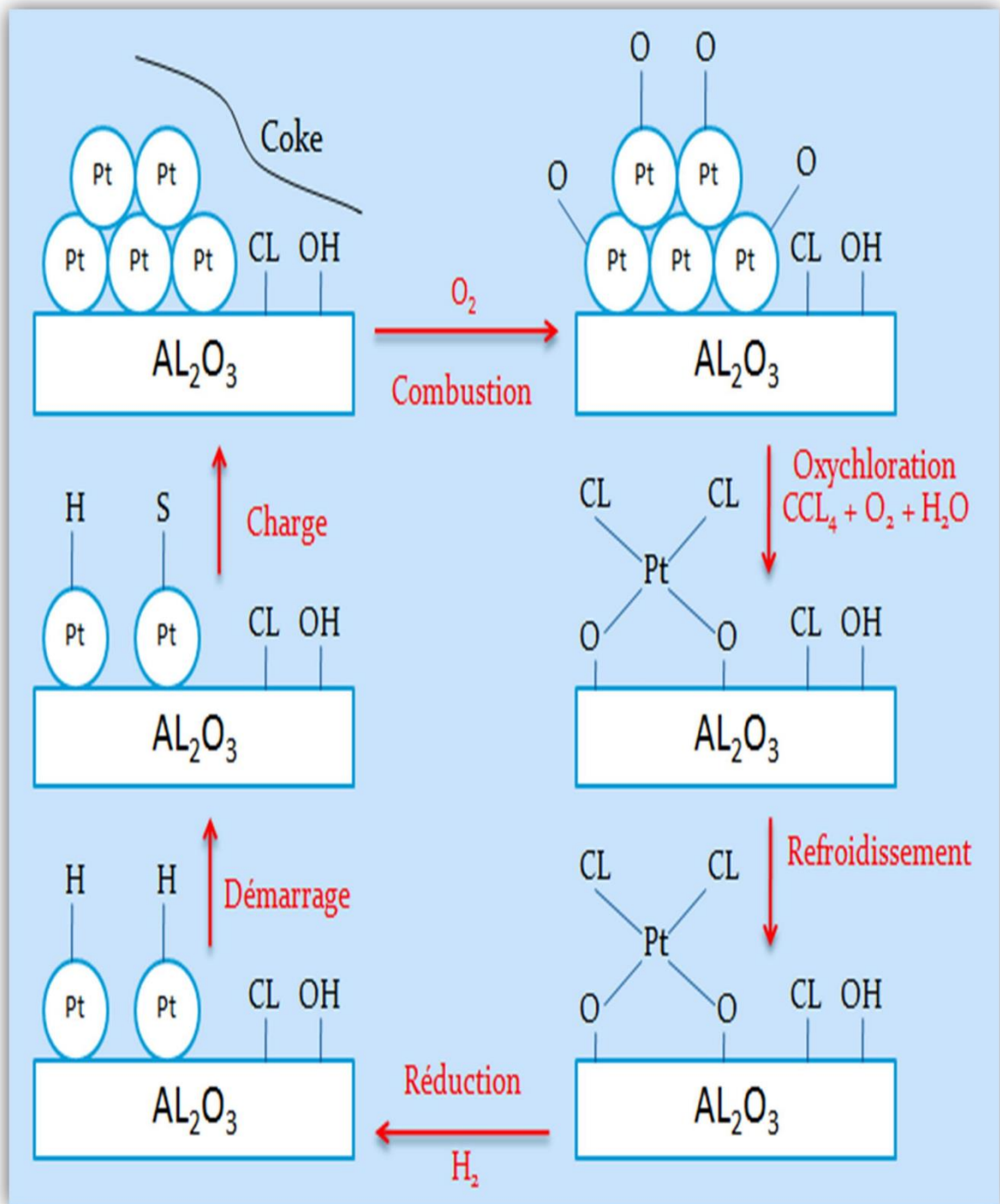


Figure II.7 : Cycle activation - régénération[27].

II.2.3 Procédé d'isomérisation

L'isomérisation apparaît comme le procédé le plus intéressant dans la mesure où elle consiste à transformer des hydrocarbures paraffiniques à chaîne droite (nP) possédant de bas indices d'octane en hydrocarbures de la même famille à chaîne ramifiée (iP) dont les indices d'octane, spécialement le MON sont nettement plus élevés. Le procédé permet d'obtenir une base à indice d'octane amélioré, l'isomérisat qui a de plus la propriété d'être volatile et d'apporter un surplus d'indice d'octane dans les fractions légères du carburant. En parallèle avec le développement des carburants sans plomb, de nombreuses raffineries ont mis en place des unités d'isomérisation des essences légères pour s'adapter aux besoins supplémentaires d'indice d'octane des carburants [25].

II.2.3.1 Catalyseurs du procédé

En accord avec la thermodynamique de la réaction d'isomérisation, la formation des isomères présentant un indice d'octane plus important est favorisée à basse température, ce qui exige une activité suffisante et une acidité très élevée du catalyseur qui permet la formation des carbocations reconnus comme espèces actives intermédiaires. Il existe quatre générations de catalyseurs d'isomérisation :

1^{ère} Génération

Catalyseur de FRIEDEL et CRAFTS (AlCl_3) qui présente une activité très élevée à faible température (80-120°C). Ils sont cependant difficiles à mettre en œuvre, car ils sont sensibles aux impuretés dans la charge et générateurs de corrosion.

2^{ème} Génération

Ce sont des catalyseurs bifonctionnels (métal/support) et essentiellement (**Pt/Alumine**). Leur mise en œuvre a permis d'éliminer les problèmes de corrosion, de minimiser la sensibilité aux poisons et d'augmenter sensiblement leur durée de vie. Ils opèrent à haute température (350°C - 550°C).

3^{ème} Génération

Ce sont des catalyseurs bifonctionnels métal/support (**Pt/alumine chlorée**) caractérisée par une acidité accrue permettant d'opérer à une température pratiquement équivalente à celle

des catalyseurs FRIEDEL-CRAFTS. Leur mise en œuvre nécessite un prétraitement de la charge. Ils sont générateurs de corrosion qui est essentiellement due à l'injection de chlore en continu dans la charge lors de la réaction afin de maintenir leur acidité.

4^{ème} Génération

Ce sont des catalyseurs zéolitiques bifonctionnels, caractérisés par une fonction acide assurée par le support (zéolite), une fonction hydro/déshydrogénante portée par un métal noble (Pt/Pd) dispersé sur la zéolite.

Ces catalyseurs opèrent à une température moyenne (**250°C - 270°C**) en présentant l'avantage d'être très faciles à mettre en œuvre et d'être résistant aux poisons, ce qui évite le prétraitement de la charge.

Actuellement les catalyseurs de 3^{ème} et 4^{ème} génération sont les plus utilisés [26].

II.2.3.1.1 Conditions opératoires

Les catalyseurs de 3^{ème} et 4^{ème} générations étant intrinsèquement différents, notamment du point de vue de l'acidité, ils sont employés dans des conditions opératoires bien distinctes. Le tableau (II.1) résume les conditions opératoires pour les deux types de catalyseur [26].

Tableau II.1 : Conditions opératoires d'isomérisation [26].

| | Pt sur alumine chlorée | Pt sur zéolithe |
|--|-------------------------------|------------------------|
| Température (°C) | 120 -180 | 250 – 270 |
| Pression (bar) | 20 – 30 | 15 – 30 |
| VVH (h ⁻¹) | 1 – 2 | 1 – 2 |
| H₂ / HC (mol /mol) | 0.1 – 2 | 2 – 4 |

Chapitre III

Historique et présentation de la raffinerie de Skikda

III.1 Introduction

L'industrie du raffinage met en œuvre des techniques de séparation et de transformation permettant de produire à partir du pétrole brut l'éventail complet des produits commerciaux des produits.

La raffinerie de Skikda est la plus grande raffinerie en Algérie et elle présente plus que la moitié de la capacité de raffinage du pays et possède un parc de stockage gigantesque et donc c'est un organisme très important dans l'économie nationale .

III.2 Présentation générale de la raffinerie de Skikda

Le complexe de raffinerie de pétrole de Skikda baptisé RA1/K, a pour mission de transformer le pétrole brut provenant de Hassi Messaoud avec une capacité de traitement (18 millions t/an), ainsi que le brut réduit importé (277.000 t/an) .

III.2.1 Situation géographique

Cette raffinerie est située dans la zone industrielle à 7 Km à l'est de Skikda et à 2 Km de la mer, Elle est aménagée sur une superficie de 190 hectares avec un effectif à l'heure actuelle de 1280 travailleurs environ. Elle est alimentée en brut algérien par le brut venant de Hassi Messaoud.

Le transport du pétrole brut est réalisé à l'aide d'un Pipe-line à une distance de champs pétroliers jusqu'à le complexe de 760 Km .

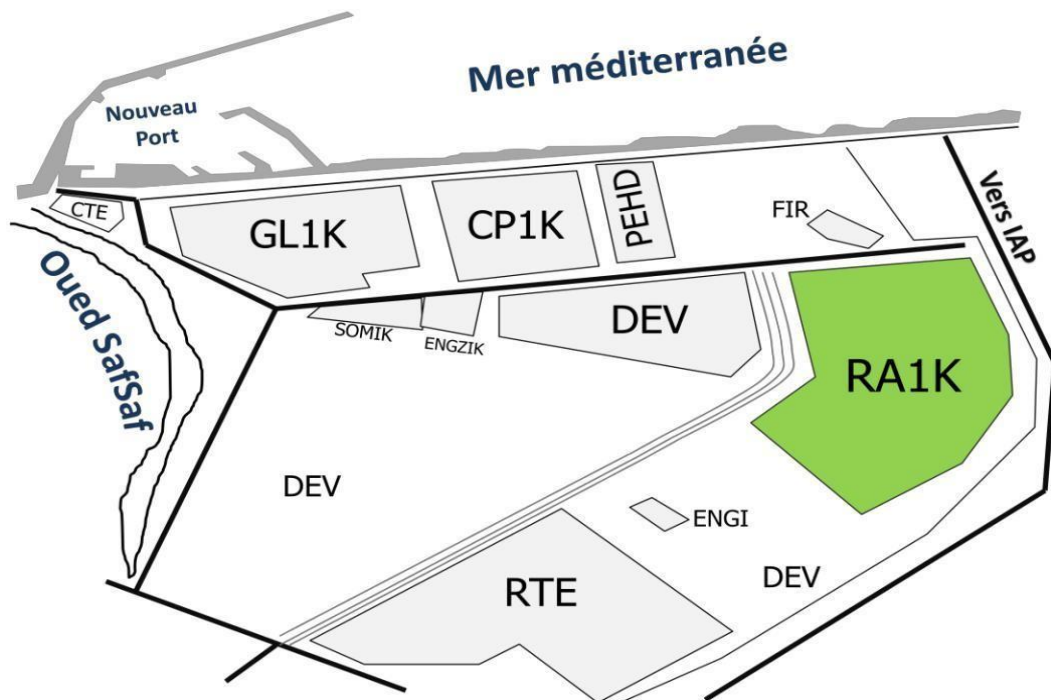


Figure III.1 : Situation géographique de la raffinerie de Skikda

III.2.2 Présentation des différentes unités de production

La raffinerie est équipée des installations suivantes :

- Unité 10/11 : distillation atmosphérique (TOPPING).
 - Unité 100 : prétraitement et reforming catalytique (MAGNAFORMING).
 - Unité 101/103 : prétraitement et reforming catalytique (PLATFORMING).
 - Unité 30/31 et 104 : traitement et séparation des gaz (GPL).
 - Unité 200 : extraction des aromatiques.
 - Unité 400 : cristallisation et séparation du paraxylène.
 - Unité 500 : isomérisation de m, ortho xylène en paraxylène.
 - Unité 700/701/702/703 : isomérisation du naphta léger A.
 - Unité 70 : distillation sous vide (Production des bitumes)
- Les utilités sont :

- Unité 600 : stockage, mélange et expédition (MELEX).
- Unité 62 : déminéralisation des eaux.
- Unité 1050 : centrale thermique électrique (C. T. E).
- Unité 900 : purification de l'hydrogène.

III.2.2.1 Unités 10-11 (Distillation atmosphérique)

Le Topping ou la distillation atmosphérique a pour but de fractionner le brut en différentes coupes stabilisées pouvant être utilisées pour l'obtention de produits finis (naphta, gas-oil, jet). Les unités U10-11 traitent le brut de Hassi Messaoud pour avoir les produits suivants : G.P.L, Iso-pentane, Naphta A, Naphta B (89.5°-155°), Naphta C (155°-180°), Kérosène (180°-225°), Gasoil léger (225°-320°), Gasoil lourd (320°-360°), et Résidu (>360°).

III.2.2.2 Unités 100 et 103 (Unités Magnaforming, Platforming)

La Magnaforming et le Platforming ont pour but de transformer le naphta moyenne et lourde obtenus du Topping en réformât utilisé comme charge pour les unités d'aromatiques (unité 200 et 400). Cette transformation a pour conséquence une augmentation de l'indice d'octane de 45 à 99 permet ainsi d'utiliser le réformât obtenu pour la fabrication des essences.

III.2.2.3 Unités 30-31-104 (Séparation et Traitement des Gaz)

Ces unités sont destinées à traiter les gaz liquides venant des unités 10, 11, 100 et 103 dans l'ordre suivant :

Unité 30 : traite le gaz liquide qui vient de l'unité 100 en particulier ceux de tête de la colonne C7 où les GPL sont séparés du pentane.

Unité 31 : reçoit les gaz provenant de la tête des colonnes de stabilisation de l'essence des deux unités de Topping.

Unité 104 : elle a été conçue dernièrement avec la nouvelle unité de Platforming 103 afin de traiter les GPL venant de cette unité .

III.2.2.4 Unité 200 (Extraction des Aromatiques)

L'installation d'extraction des aromatiques a été projetée pour extraire de l'essence réformée des aromatiques qui seront fractionnées par la suite en benzène et toluène très pures.

La charge est constituée par la coupe de réformât léger provenant directement ou à travers un réservoir de la colonne C₅ splitteur du réformât de l'unité 100 .

III.2.2.5 Unité 400 (Séparation du Paraxylène)

Cette unité est conçue pour récupérer le para-xylène produit très recherché sur le marché. La charge venant de l'unité de Magnaforming, permet par cristallisation de séparer le para-xylène des autres xylènes (métha-ortho) et l'éthyle-benzène. Le para-xylène est commercialisé tel qu'il est, le reste peut être utilisé comme base pour l'obtention des essences ou commercialisé sous forme de mélange xylène pouvant être utilisé comme solvant pour la fabrication des peintures, etc .

III.2.2.6 Unité 500 (Isomérisation du M-xylène)

L'installation d'isomérisation des aromatiques a été projetée pour récupérer le filtrat des cristalliseurs de l'Unité 400 (unité de l'extraction du p-xylène) et l'isomérisation, après l'isomérisat obtenu sera séparé en deux fractions essentielles :

- Une fraction riche en benzène envoyée vers l'Unité 200.
- L'autre riche en p-xylène envoyée vers l'Unité 400.

Le but principal de cette unité est d'augmenter la production en p-xylène.

III.2.2.7 Unités 700/701/702/703 (Unité d'isomérisation du naphta léger A)

Leur but est la conversion des paraffines normales en iso paraffines avec un indice d'octane élevé. Les paraffines allant du butane à l'hexane peuvent être isomérisées en utilisant des catalyseurs modernes, très actifs à base de platine. L'isomérisation peut être poussée à l'extrême par l'utilisation de séparation par distillation et/ou par tamis moléculaire des paraffines normales non converties.

Les coupes C₅-C₆, peuvent également être totalement isoméries en composants à haut indice d'octane très recherchés pour le pool essence.

Le procédé d'isomérisation est devenu pour le raffineur un outil précieux pour élargir la gamme de ses produits et améliorer leurs qualités, tout en augmentant la flexibilité d'opérations et leur rentabilité. De plus, la production de ces constituants à haute indice d'octane, mais exempts d'aromatiques, permet de réduire la contribution au pool essence du reformât, riche en aromatiques, améliorant ainsi la qualité de l'essence en termes de protection de l'environnement, ce qui est aujourd'hui un facteur très important.

Dans la raffinerie de Skikda deux trains sont installés pour l'isomérisation de la fraction légère des essences produites aux topping (U10&U11) afin de fournir un additif sans aromatiques au pool des essences pour la fabrication des carburants .

III.2.2.8 Unité 70 (Production de Bitume)

L'unité 70 a été conçue pour traiter 271 100 t/an de brut réduit importé (BRI) qui peut être:

- Charge A : résidu TIA juan médium 372°C plus.
- Charge B : résidu TIA juan lourd 450°C plus.
- Charge C : résidu du brut du Koweït.

L'unité se compose principalement d'une colonne de distillation sous vide et d'un réacteur d'oxydation des bitumes. Le produit de fond de colonne est le bitume routier ordinaire dont:

- Une partie est envoyée vers le stockage.
- L'autre partie est utilisée comme charge à la section d'oxydation où elle sera oxydée au moyende l'air en bitume oxydé.

III.2.2.9 Unité 600 (Unité Melexe)

Cette unité est composée d'une section de mélange et d'expédition des produits pétroliers et d'unesection de stockage du brut et des produits pétroliers. Elle comprend :

- Les bacs de stockage des différentes charges et produits des unités de production.
- Les bacs de mélange des gasoils et des essences.

- Les stations de pompage pour l'expédition des produits pétroliers vers les différents dépôts de stockage (dépôts d'El Khroub et de Berrahal) .

III.2.2.10 Centrale thermoélectrique

C'est le système nerveux de la raffinerie, La CTE se compose de 11 sections à savoir :

- ❖ La section 62 : pour la production d'eau déminéralisée.
- ❖ La section 1020 : pour tours de refroidissement de l'eau.
- ❖ La section 1030 : pour le stockage et le pompage de l'eau de barrage ou de l'eau potable.
- ❖ La section 1040 : pour le stockage et le pompage de l'eau anti-incendie.
- ❖ La section 1050 : pour la génération de la vapeur « chaudières ».
- ❖ La section 1060 : pour la récupération et le traitement du condensât.
- ❖ La section 1070 : ou système Fuel-Gas.
- ❖ La section 1080 : pour la production de l'air instrument et l'air service.
- ❖ La section 1100 pour le traitement des effluents.
- ❖ La section 1110 : de production de l'azote (N₂).
- ❖ La section de production de l'électricité .

III.2.2.11 Unité 900 (Unité de purification de l'hydrogène)

Elle a pour but l'augmentation de la pureté de l'hydrogène issu de l'unité 100, afin de l'envoyer vers les autres unités consommatrices de l'hydrogène (unité 500...).

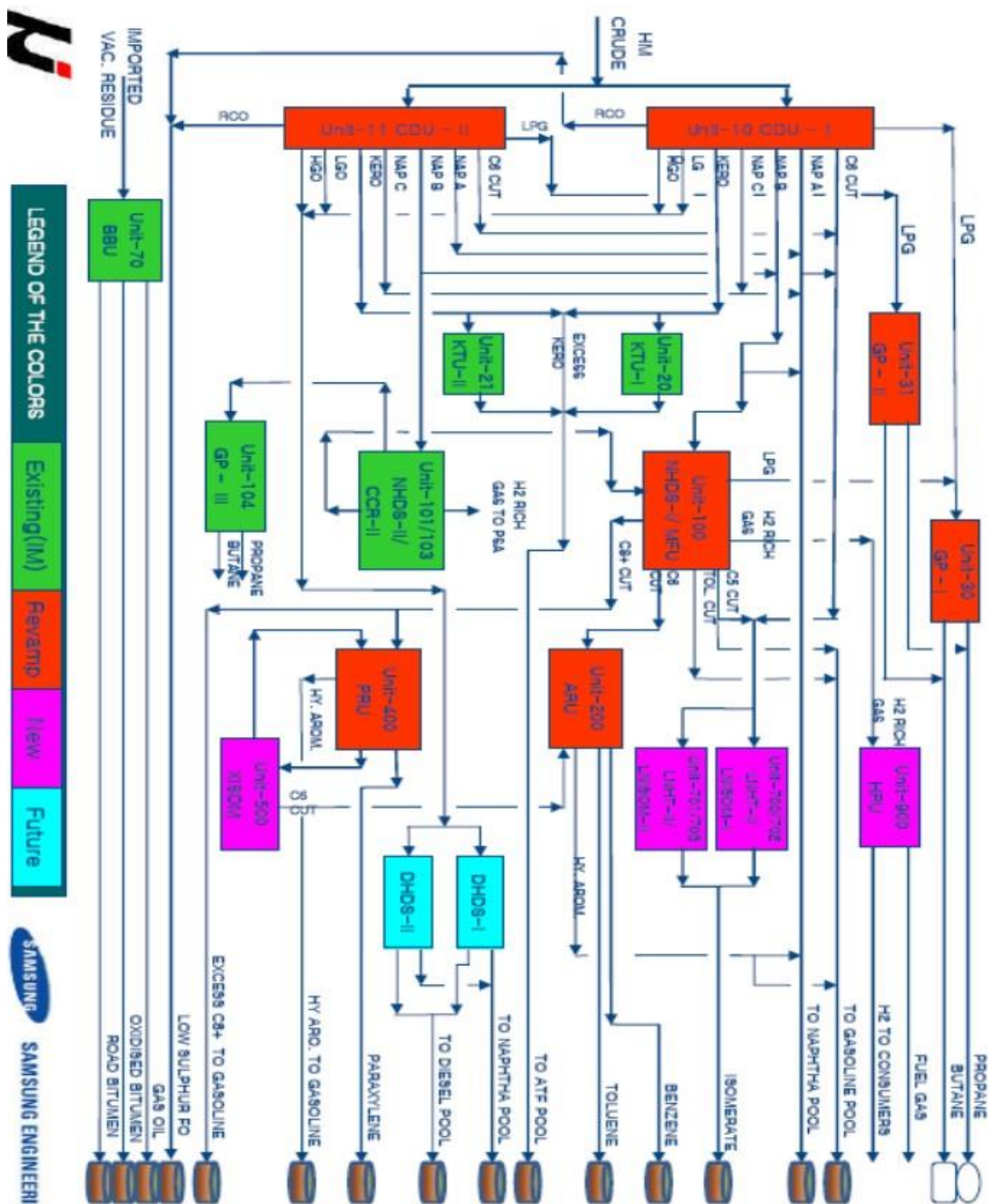


Figure III.2 : Schéma descriptif de la raffinerie de SKIKDA

Chapitre IV

Partie calcul

IV .1 Problématique

Dans le domaine du transport, des nouvelles contraintes apparaissent et se répercutent essentiellement sur l'ensemble moteur-carburant.

La question qui se pose : quelle est la composition optimale des carburants (essence) pour répondre aux exigences du marché national ?

L'essence est un mélange complexe qui est produit à partir des bases issues du raffinage du pétrole et elle diffère selon la disponibilité de ces bases, donc on doit préparer une essence commerciale avec des caractéristiques demandées (TVR, densité, RON, MON, ladistillation ASTM D86, la teneur en aromatique, la teneur en benzène et la teneur en soufre..) en gardant la marche des unités et en évitant le stock haut des bacs intermédiaires.

Chaque base a des caractéristiques différentes et elle entre dans la formulation avec des pourcentages variés. Donc, on doit choisir les pourcentages appropriés pour avoir un mélange (essence) avec les caractéristiques demandées.

Dans la plupart du temps, on n'arrive pas à produire une essence avec un indice d'octane exigé sans ajouter un additif ou un composant pour le corriger.

La division raffinage de l'activité aval de SONATRACH, en particulier la raffinerie de Skikda RA1K, utilisait le MTBE pour corriger l'indice d'octane .Cependant, ce dernier a un impact important sur l'environnement. Pour cette raison, le marché européen a décidé de remplacer le MTBE par une base plus propre et respectueux de la nature comme l'éthanol.

IV.2. Objectif

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'effet de l'ajout de l'éthanol, un additif respectueux de l'environnement, sur les propriétés de l'essence fabriquée à la raffinerie de Skikda RA1K dans le but de remplacer le MTBE qui est un produit toxique.

IV.3. Formulation des essences à la raffinerie de Skikda RA1K

La raffinerie de Skikda RA1K produit un essence pour les besoins du marché,l'excédent de l'essence super sans plomb est destiné à l'exportation.

Les quantités d'essences fabriquées à RA1K dépendent des facteurs :

- Demande du marché local y compris les besoins des régions centreet Ouest ;

- Des taux de fonctionnement des unités Reforming I et Reforming II
- De la sévérité des unités Reforming « Caractéristiques des bases ».

Les deux types d'essences sont produits par le biais des bases suivantes :

- Butane : pour donner une volatilité à l'essence. «Le pourcentage de butane est limité par la TVR "
- Reformat lourd : Produit issu de l'unité 100.
- ERL : Produit issu de l'unité 100.
- Naphta A et B : leur utilisation leur permet une meilleure valorisation.
- Raffinat : produit issu de l'unité 200.
- Toluène Brut / Aromatiques Lourds : ont un avantage d'avoir un indice d'octane élevé mais présentent une densité très élevée.
- MTBE : son addition aux carburants permet un gain en nombre d'octane.
- Isomérat : Produit issu de l'unité d'isomérisation.

IV.4. Formulation du problème

IV.4.1. Identification des variables

Notre modèle comprend plusieurs variables, nous désignons :

Les volumes des différentes bases incorporées au carburant.

IV.4.2 Formulation des contraintes

Les contraintes de notre modèle se subdivisent en deux blocs, la contrainte de quantité et les contraintes de qualité.

IV.4.2.1 La contrainte de quantité

ce contrainte contient La contrainte de disponibilité du base .

IV.4.2.1.a La contrainte de disponibilité du base

La raffinerie produit des bases (et importe d'autres) avec des capacités de production (d'importation) limitées. La contrainte de disponibilité s'écrit comme suite :

$$V_j \leq \Pi_j \quad j = 1 \dots n$$

Π_j : disponibilité de la base j

n : nombre de bases

V_j : le volume de la base j incorporé au carburant

IV.4.2.2 Les contraintes de qualité

IV.4.2.2.a Les lois du mélange

En principe, la qualité d'un mélange constitué de différents composants obéit à la loi de mélange.

$$Q = \frac{\sum q_i \times V_i}{\sum V_i} = \sum q_i \times X_i$$

Q : la qualité du mélange

q_i : la qualité de chaque base

V_i : le volume de chaque base

$$V_i / \sum V_i = X_i$$

IV.4.2.3 Les contraintes du modèle

Il convient d'abord de préciser que les caractéristiques de l'essence (RON et TVR en première approximation et la densité) se mélangent en volume.

- **L'indice d'octane (RON)** : C'est un indice déterminé en laboratoire qui mesure la résistance à l'auto-inflammation d'un carburant dans un moteur à allumage commandé (moteur essence) ; et en particulier sa résistance au cliquetis, plus l'indice d'octane est élevé ; plus la résistance est grande.

On distingue l'indice d'octane recherche (RON) qui représente le comportement d'un carburant à bas régime, et l'indice d'octane moteur (MON) qui représente le comportement d'un moteur à haut régime et à forte charge.

$$\sum \text{RON}_i \times X_i \geq \text{RON}_{\min} \text{ (essence)}$$

$$\sum \text{RON}_i \times X_i \leq \text{RON}_{\max} \text{ (essence)}$$

RON_i : l'indice d'octane recherche de chaque base.

X_i : le pourcentage de chaque base incorporée au carburant.

RON_{min} : l'indice d'octane recherche minimum de l'essence = **90.7**

RON_{max} : l'indice d'octane recherche maximum de l'essence = **91.3**

-**La densité** : la densité de chaque type d'essence est comprise entre deux valeurs :

$$\sum \text{DEN}_i \times X_i \geq \text{DEN}_{\min} \text{ (essence)}$$

$$\sum \text{DEN}_i \times X_i \leq \text{DEN}_{\max} \text{ (essence)}$$

DEN_i : la densité de chaque base incorporée au carburant

X_i : le pourcentage de chaque base incorporée au carburant

DEN_{min} : la densité minimum de l'essence

DEN_{max}: la densité maximum de l'essence

-**La TVR** : il existe deux limitations de TVR, une limitation minimale et d'autre maximale pour chaque type d'essence.

$$\sum (\text{TVR}_i) \times X_i \leq (\text{TVR}_{\text{optimale}})$$

En été : **TVR_{optimale} ≤ 0.65**

En hiver : **TVR_{optimale} ≤ 0.8**

IV.5 Formulation des essences

Les produits de base disponibles à la raffinerie sont en fonction de la nature du pétrole brut et des unités de raffinage utilisées et peuvent, en outre, être sélectionnées suivant l'orientation de la production de la raffinerie.

La connaissance des caractéristiques des bases disponibles, est également des contraintes

techniques et économiques de la raffinerie permet de définir des formules possibles.

Les propriétés des produits de base des essences sont regroupées dans le tableau IV.1:

Tableau IV.1: Caractéristiques des bases

| Base | RON | TVR | Densité |
|---------------------|------|-------|---------|
| Raffinat | 70 | 0,28 | 0,689 |
| ERL | 70 | 0,28 | 0,713 |
| Reformat lourd | 110 | 0,01 | 0,87 |
| Toluène brut (100M) | 90 | 0,05 | 0,814 |
| Toluène Brut (100P) | 108 | 0,02 | 0,813 |
| Aromatiques lourds | 111 | 0,01 | 0,88 |
| Isomérat | 94 | 1,1 | 0,635 |
| Naphta A | 65.5 | 1.097 | 0.7353 |
| Naphta B | 46.5 | 0.124 | 0.7294 |
| Butane | 94,7 | 5,5 | 0,5794 |
| MTBE | 130 | 0,491 | 0,746 |
| Ethanol | 105 | 0.061 | 0.789 |

Le tableau IV.2 représente les spécifications des de l'essence qui est produit au niveau de la raffinerie de Skikda RA1K.

Tableau IV.2: Caractéristiques de l'essence sans plomb.

| Type de l'essence | RON | TVR | Densité |
|--------------------|-----|--------------------|--------------|
| Essence sans plomb | 91 | En été :0.65 max | 0.72 - 0.775 |
| | | En hiver : 0.8 max | |

Les tableaux IV.3 et IV.4 représentent les quantités semestrielles des bases utilisées pour produire de l'essence en tonne métrique et en m³, et les quantités de l'essence qui est produit en 2022 au niveau de la raffinerie de Skikda.

Tableau IV.3 : Quantités semestrielles des bases et des essences en hiver de 2022.

| Bases | Unité | Total des bases | % massique | Densité | Total(m3) |
|-----------------|-----------|--------------------|----------------|--------------|-------------------|
| BUTANE | TM | 3 084,373 | 0,45% | 0,5794 | 5323,391439 |
| ISO PENTANE | TM | 0,000 | 0,00% | 0 | 0 |
| N- PENTANE | TM | 0,000 | 0,00% | 0 | 0 |
| NAPHTA A ISO C5 | TM | 5 379,000 | 0,79% | 0,6425 | 8371,984436 |
| ISOMERAT | TM | 203 386,997 | 29,90% | 0,635 | 320294,4835 |
| NAPHTA B | TM | 1 087,500 | 0,16% | 0,7325 | 1484,641638 |
| Reformat léger | TM | 23 137,933 | 3,40% | 0,715 | 32360,74545 |
| RAFFINAT | TM | 105 286,555 | 15,48% | 0,6887 | 152877,2397 |
| PLATFORMAT | TM | 0,000 | 0,00% | 0 | 0 |
| TOL. BRUT | TM | 114 845,476 | 16,88% | 0,8304 | 138301,3921 |
| Reformat lourd | TM | 154 151,525 | 22,66% | 0,8645 | 178312,9265 |
| AROM. LOURD | TM | 44 531,960 | 6,55% | 0,88 | 50604,5 |
| XYLENES | TM | 0,000 | 0,00% | 0 | 0 |
| BENZENE. | TM | 0,000 | 0,00% | 0 | 0 |
| P-XYLENES | TM | 0,000 | 0,00% | 0 | 0 |
| Toluène fini | TM | 34,868 | 0,01% | 0,87 | 40,07816092 |
| MTBE | TM | 25 331,150 | 3,72% | 0,746 | 33955,96515 |
| TOTAL | TM | 680 257,337 | 100,00% | 8,184 | 921 927,35 |

Tableau IV.4 : Quantités semestrielles des bases et des essences en été de 2022.

| Bases | Unité | Total des bases | Massique | densité | Total des bases |
|-----------------|-----------|----------------------|----------------|--------------|---------------------|
| BUTANE | TM | 8 418,682 | 0,78% | 0,5794 | 14530 |
| ISO PENTANE | TM | 0,000 | 0,00% | 0 | 0 |
| N- PENTANE | TM | 0,000 | 0,00% | 0 | 0 |
| NAPHTA A ISO C5 | TM | 9 126,000 | 0,84% | 0,6425 | 14203,89105 |
| ISOMERAT | TM | 268 940,826 | 24,77% | 0,635 | 423528,8598 |
| NAPHTA B | TM | 362,500 | 0,03% | 0,7325 | 494,8805461 |
| Reformat léger | TM | 32 696,403 | 3,01% | 0,715 | 45729,23497 |
| RAFFINAT | TM | 194 844,827 | 17,95% | 0,6887 | 282916,839 |
| PLATFORMAT | TM | 0,000 | 0,00% | 0 | 0 |
| TOL. BRUT | TM | 226 035,508 | 20,82% | 0,8304 | 272200,7563 |
| Reformat lourd | TM | 202 329,832 | 18,64% | 0,8645 | 234042,605 |
| AROM. LOURD | TM | 106 131,359 | 9,78% | 0,88 | 120603,817 |
| XYLENES | TM | 0,000 | 0,00% | 0 | 0 |
| BENZENE. | TM | 0,000 | 0,00% | 0 | 0 |
| P-XYLENES | TM | 0,000 | 0,00% | 0 | 0 |
| Toluène fini | TM | 78,453 | 0,01% | 0,87 | 90,17586207 |
| MTBE | TM | 36 665,373 | 3,38% | 0,746 | 49149,29357 |
| TOTAL | TM | 1 085 629,763 | 100,00% | 8,184 | 1 457 490,35 |

IV.6 Effet de l'addition de l'éthanol sur les propriétés de l'essence sans plomb

Dans cette partie, nous avons étudié l'effet de l'ajout d'éthanol sur les propriétés de l'essence sans plomb produite à la raffinerie de Skikda et les comparées à celles de l'essence contenant du MTBE. L'étude comparative a été menée sur deux saisons, hiver et été 2022.

IV.6.1 Hiver 2022

Le tableau IV.5 indique les caractéristiques des essences calculées par le solveur dans les conditions hiver.

Tableau IV.5 : Caractéristiques des essences calculées par le solveur dans les conditions hiver.

| Les essences | RON | TVR | Densité |
|-------------------------------|------|-------|---------|
| Essence contient du MTBE | 91.0 | 0.522 | 0.7391 |
| Essence contient de l'éthanol | 91.0 | 0.474 | 0,7439 |

Le tableau IV.6 présente la composition de l'essence sans plomb contenant du MTBE ainsi que les excédents dans les principaux produits à l'hiver 2022.

Tableau IV.6 : La composition de l'essence sans plomb contenant du MTBE à l'hiver 2022.

| Bacs N° | Produit | Quantité M ³ | % Volume | Densité | NO | TVR |
|------------------|-----------------|-------------------------|-------------|----------------|-------------|--------------|
| 181/182 | BUTANE | 5323 | 0,6% | 0,5794 | 94,0 | 5,500 |
| 183 | | | | | | |
| 222 | MTBE | 33 955 | 3,7% | 0,7460 | 130,0 | 0,560 |
| 223 | | | | | | |
| 32 | ERL | 32 361 | 3,5% | 0,7120 | 70,0 | 0,250 |
| | | | | | | |
| (100P) | Toluène Brut | 136 830 | 14,9% | 0,8340 | 101,0 | 0,010 |
| 24 | | | | | | |
| 226 | NAPHTA A | 8 372 | 0,9% | 0,6450 | 68,0 | 0,990 |
| 227 | | | | | | |
| 33 | Arom lourd | 50 605 | 5,5% | 0,8700 | 109,0 | 0,100 |
| 34 | | | | | | |
| 65 | Ref lourd | 178 313 | 19,4% | 0,8700 | 105,0 | 0,100 |
| | | | | | | |
| 36 | Raffinat | 152 877 | 16,6% | 0,6890 | 62,7 | 0,250 |
| 30 | | | | | | |
| 18 | Toluène Brut | 0 | 0,0% | 0,8220 | 96,0 | 0,010 |
| (100M) | | | | | | |
| 229 | Isomérat | 320 294 | 34,9% | 0,6360 | 88,0 | 1,100 |
| 230/231 | | | | | | |
| T O T A L | | 918 930 | 100% | 0,7391 | 91,0 | 0,522 |
| | | | | 679 169 | | |

L'analyse du tableau IV.6 montre que :

- les propriétés de l'essence contenant le MTBE sont respectés .
- la quantité du MTBE utilisée dans l'essence à l'hiver est 33 955 m³.

- On peut maximiser la production de l'essence sans plomb contenant du MTBE en hiver en utilisant : 152 877 m³ de raffinat, 32 361 m³ de ERL, 178 313 m³ de reformat lourd, 136 830 m³ de toluène brut, 50 605 m³ des aromatiques lourds , 320 294 m³ d'isomérat, 8372 m³ de naphta A, 5323 m³ butane et 33 955 m³ de MTBE.

Le tableau IV.7 présente la composition de l'essence sans plomb contenant de l'éthanol ainsi que les excédents dans les principaux produits en hiver 2022. L'examen de ce tableau permet de remarquer que :

- La quantité de l'éthanol employée dans l'essence en été est 100 000 m³. Elle est supérieure à celle de MTBE.
- Les caractéristiques de l'essence contenant l'éthanol sont respectées.
- On peut maximiser la production de l'essence sans plomb contenant de l'éthanol en hiver en utilisant : 152 877 m³ de raffinat, 32 361 m³ de ERL, 178 313 m³ de reformat lourd, 136 830 m³ de toluène brut , 50 605 m³ des aromatiques lourds, 320 294 m³ d'isomérat , 8 372 m³ de naphta A, 5323 m³ de butane et de 100 000 m³ éthanol.

Tableau IV.7 : La composition de l'essence sans plomb contenant de l'éthanol à l'hiver 2022.

| Bacs N° | Produit | Quantité M ³ | % Volume | Densité | NO | TVR |
|------------------|-----------------|-------------------------|-------------|----------------|-------------|--------------|
| 181/182 | BUTANE | 5323 | 0,5% | 0,5794 | 94,0 | 5,500 |
| 183 | | | | | | |
| 222 | Ethanol | 100 000 | 10,2% | 0,7890 | 105,0 | 0,061 |
| 223 | | | | | | |
| 32 | ERL | 32 361 | 3,3% | 0,7120 | 70,0 | 0,250 |
| | | | | | | |
| (100P) | Toluène Brut | 136 830 | 13,9% | 0,8340 | 101,0 | 0,010 |
| 24 | | | | | | |
| 226 | NAPHTA A | 8 372 | 0,8% | 0,6450 | 68,0 | 0,990 |
| 227 | | | | | | |
| 33 | Arom lourd | 50 605 | 5,1% | 0,8700 | 109,0 | 0,100 |
| 34 | | | | | | |
| 65 | Ref lourd | 178 313 | 18,1% | 0,8700 | 105,0 | 0,100 |
| | | | | | | |
| 36 | Raffinat | 152 877 | 15,5% | 0,6890 | 62,7 | 0,250 |
| 30 | | | | | | |
| 18 | Toluène Brut | 0 | 0,0% | 0,8220 | 96,0 | 0,010 |
| (100M) | | | | | | |
| 229 | Isomérat | 320 294 | 32,5% | 0,6360 | 88,0 | 1,100 |
| 230/231 | | | | | | |
| T O T A L | | 984 975 | 100% | 0,7439 | 91,0 | 0,474 |
| | | | | 732 739 | | |

IV.6.2 Été 2022

Le tableau IV.8 présente les caractéristiques des essences calculées par le solveur dans les conditions été.

Tableau IV.8 : Caractéristiques des essences calculées par le solveur dans les conditions été.

| Les essences | RON | TVR | Densité |
|-------------------------------|------|-------|---------|
| Essence contient du MTBE | 91.0 | 0.486 | 0.7459 |
| Essence contient de l'éthanol | 91.0 | 0.447 | 0,7495 |

Le tableau IV.9 présente la composition de l'essence sans plomb contenant du MTBE produit à l'été 2022 ainsi que les excédents dans les principaux produits. L'examen de ce tableau montre que :

- la quantité du MTBE employée dans l'essence en été (49 000 m³) est supérieure à celle utilisée en hiver (33 955 m³).
- les caractéristiques de l'essence sont respectées .
- Les quantités des différentes bases employées dans la fabrication de l'essence sans plomb varie de l'hiver en été. On peut maximiser la production de l'essence sans plomb contenant du MTBE en été en utilisant : 152 877 m³ de raffinat, 45 729m³ de ERL, 234 043 m³ de reformat lourd, 272 201 m³ de toluène brut, 120 604 m³ des aromatiques lourds, 423 529 m³ d'isomérat , 14 204 m³ de naphta A, 14 530 m³ de butane et 49 000 m³ de MTBE.

Tableau IV.9 : La composition de l'essence sans plomb contenant du MTBE produite à l'été 2022.

| Bacs N° | Produit | Quantité M ³ | % Volume | Densité | NO | TVR |
|------------------|-----------------|-------------------------|-------------|------------------|-------------|--------------|
| 181/182 | BUTANE | 14530 | 1,0% | 0,5794 | 94,0 | 5,500 |
| 183 | | | | | | |
| 222 | MTBE | 49 000 | 3,4% | 0,7460 | 130,0 | 0,560 |
| 223 | | | | | | |
| 32 | ERL | 45 729 | 3,1% | 0,7120 | 70,0 | 0,250 |
| | | | | | | |
| (100P) | Toluène Brut | 272 201 | 18,7% | 0,8340 | 102,0 | 0,010 |
| 24 | | | | | | |
| 226 | NAPHTA A | 14 204 | 1,0% | 0,6450 | 68,0 | 0,990 |
| 227 | | | | | | |
| 33 | Arom lourd | 120 604 | 8,3% | 0,8700 | 109,0 | 0,100 |
| 34 | | | | | | |
| 65 | Ref lourd | 234 043 | 16,1% | 0,8700 | 106,0 | 0,100 |
| | | | | | | |
| 36 | Raffinat | 282 917 | 19,4% | 0,6890 | 62,7 | 0,250 |
| 30 | | | | | | |
| 18 | Toluène Brut | 0 | 0,0% | 0,8220 | 96,0 | 0,010 |
| (100M) | | | | | | |
| 229 | Isomérat | 423 529 | 29,1% | 0,6360 | 88,0 | 1,100 |
| 230/231 | | | | | | |
| T O T A L | | 1 456 756 | 100% | 0,7459 | 91,0 | 0,486 |
| | | | | 1 086 545 | | |

Le tableau IV.10 présente la composition de l'essence contenant de l'éthanol produite à l'été 2022 ainsi que les excédents dans les principaux produits.

Tableau IV.10 :La composition de l'essence contenant de l'éthanol produite à l'été 2022.

| Bacs N° | Produit | Quantité M ³ | % Volume | Densité | NO | TVR |
|--------------|-----------------|-------------------------|-------------|------------------|-------------|--------------|
| 181/182 | BUTANE | 14530 | 0,9% | 0,5794 | 94,0 | 5,500 |
| 183 | | | | | | |
| 222 | Ethanol | 130 000 | 8,5% | 0,7890 | 105,0 | 0,061 |
| 223 | | | | | | |
| 32 | ERL | 45 729 | 3,0% | 0,7120 | 71,0 | 0,250 |
| | | | | | | |
| (100P) | Toluène Brut | 272 201 | 17,7% | 0,8340 | 102,0 | 0,010 |
| 24 | | | | | | |
| 226 | NAPHTA A | 14 204 | 0,9% | 0,6450 | 68,0 | 0,990 |
| 227 | | | | | | |
| 33 | Arom lourd | 120 604 | 7,8% | 0,8700 | 109,0 | 0,100 |
| 34 | | | | | | |
| 65 | Ref lourd | 234 043 | 15,2% | 0,8700 | 106,0 | 0,100 |
| | | | | | | |
| 36 | Raffinat | 282 917 | 18,4% | 0,6890 | 62,7 | 0,250 |
| 30 | | | | | | |
| 18 | Toluène Brut | 0 | 0,0% | 0,8220 | 96,0 | 0,010 |
| (100M) | | | | | | |
| 229 | Isomérat | 423 529 | 27,5% | 0,6360 | 88,0 | 1,100 |
| 230/231 | | | | | | |
| TOTAL | | 1 537 756 | 100% | 0,7495 | 91,0 | 0,447 |
| | | | | 1 152 561 | | |

L'analyse du tableau IV.10 montre que :

- les caractéristiques de l'essence contenant l'éthanol sont respectées.
- la quantité de l'éthanol employée dans l'essence en été (130 000 m³) est supérieure à celle utilisée en hiver (100 000 m³).

- on peut maximiser la production de l'essence sans plomb contenant de l'éthanol en été en utilisant : 282 917 m³ de raffinat, 45 729 m³ de ERL, 234 043 m³ de reformat lourd, 271 201 m³ de toluène brut, 120 604 m³ des aromatiques lourds, 423 529 m³ d'isomérat , 14 204 m³ de naphta A , 14 530m³ de butane et 130 000 m³ d'éthanol.

IV.7 Etude comparative

IV.7.1 La comparaison commerciale

Les tableaux IV.11 et IV.12 indiquent l'utilisation du MTBE et de l'éthanol dans la production d'essence, avec les quantités, les prix et les gains financiers associés à l'hiver et l'été 2022, respectivement.

Remarque

Le gain financier est calculé en soustrayant le prix total de la matière première (MTBE ou éthanol) du prix total de l'essence contenant cette matière première.

Tableau IV.11 : Les gains financiers de l'utilisation du MTBE et de l'éthanol dans la production d'essence à l'hiver 2022.

| Produit | Quantité M ³ | Densité | Quantité TM | Prix de TM \$ | Prix Total \$ | Gain financier \$ |
|--|----------------------------|---------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| MTBE | 33 955 | 0,7460 | 25 330 | 995 | 25203350 | 331 699 453 |
| Essence contient du MTBE | 679 169 | 0,7391 | 501 973 | 711 | 356902803 | |
| Ethanol | 100 000 | 0,7890 | 78 900 | 720 | 56808000 | 330 746 724 |
| Essence contient de l'éthanol | 732 739 | 0,7439 | 545 084 | 711 | 387554724 | |

Tableau IV.12 : Les gains financiers de l'utilisation du MTBE et de l'éthanol dans la production d'essence à l'été 2022.

| Produit | Quantité M ³ | Densité | Quantité TM | Prix de TM \$ | Prix Total \$ | Gain financier \$ |
|--|----------------------------|---------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| MTBE | 49 000 | 0,7460 | 36 554 | 995 | 36371230 | 539 860 853 |
| Essence contient du MTBE | 1086 545 | 0,7459 | 810 453 | 711 | 576232083 | |
| Ethanol | 130 000 | 0,7890 | 102 570 | 720 | 73850400 | 540 342 684 |
| Essence contient de l'éthanol | 1152 561 | 0,7495 | 863 844 | 711 | 614193084 | |

➤ L'analyse du tableau(IV.11) permet de tirer les remarques suivantes:

1. Quantité : L'essence contenant de l'éthanol a une quantité légèrement supérieure par rapport à l'essence contenant du MTBE. La quantité en m³ est de 732 739 pour l'éthanol, tandis que celle du MTBE est de 679 169.

2. Prix total : L'essence contenant du MTBE a un prix total de 356 902 803 \$, tandis que l'essence contenant de l'éthanol a un prix total de 387 554 724 \$. Cela indique que l'essence contenant de l'éthanol est légèrement plus chère que celle contenant du MTBE.

3. Gain financier: Le gain financier pour l'essence contenant du MTBE est de 331 699 453\$, tandis que celui pour l'essence contenant de l'éthanol est de 330 746 724 \$. Ces chiffres montrent que les deux cas ont des gains financiers similaires.

➤ L'analyse du tableau (IV.12) permet de tirer les remarques suivantes:

1.Quantité : L'essence contenant de l'éthanol a une quantité légèrement supérieure par rapport à l'essence contenant du MTBE. La quantité en (m³) est de 1 152 561 pour l'éthanol, tandis que celle du MTBE est de 1 086 545.

2. Prix total : L'essence contenant du MTBE a un prix total de 576 232 083 \$, tandis que l'essence contenant de l'éthanol a un prix total de 614 193 084 \$. Cela indique que l'essence contenant de l'éthanol est légèrement plus chère que celle contenant du MTBE.

3. Gain financier : Le gain financier pour l'essence contenant du MTBE est de 539 860 853 \$, tandis que celui pour l'essence contenant de l'éthanol est de 540 342 684 \$. Ces chiffres montrent que les deux cas ont des gains financiers similaires.

En résumé, dans les deux tableaux, bien que l'essence contenant de l'éthanol ait une quantité légèrement supérieure et un prix total plus élevé, le gain financier est similaire à celui de l'essence contenant du MTBE. La comparaison suggère que les deux produits ont des impacts économiques comparables.

IV.7.2 La Comparaison environnementale

MTBE : Le MTBE est connu pour causer une contamination de l'eau et des sols, ce qui peut avoir des effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques et la biodiversité. Il est considéré comme un polluant persistant et peut entraîner des problèmes de qualité de l'eau potable.

Éthanol : L'éthanol est considéré comme un carburant plus respectueux de l'environnement car il réduit les émissions de gaz à effet de serre par rapport aux carburants à base de pétrole. Il peut contribuer à la réduction de l'impact climatique et à la préservation de la qualité de l'air.

En conclusion, dans le contexte de préservation de la nature, l'éthanol est considéré comme le meilleur choix.

IV.8 Conclusion

Les résultats de l'étude comparative montrent que l'éthanol et le MTBE permettent d'engendrer des effets économiques similaires. Toutefois, en ce qui concerne la préservation de la nature, l'éthanol est considéré comme une alternative supérieure au MTBE. Par conséquent, il est clair que l'éthanol est le meilleur choix.

Conclusion générale

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'effet de l'ajout de l'éthanol, un additif respectueux de l'environnement, sur les propriétés de l'essence sans plomb fabriquée à la raffinerie de Skikda (RAIK) dans le but de substituer le MTBE qui est un produit toxique. L'étude a été réalisée sur deux types d'essence (essence contenant le MTBE et essence améliorée par l'éthanol) en prenant en considération les contraintes de qualité et l'utilisation optimale des bases disponibles (produites à la raffinerie de Skikda).

Les résultats de l'étude comparative indiquent que le MBTE et l'éthanol présentent des effets économiques similaires dans le contexte spécifique étudié. Cependant, il est important de prendre en compte d'autres facteurs cruciaux tels que l'impact sur l'environnement. Puisque nous vivons dans une époque où la préservation de l'environnement est une préoccupation majeure, il est judicieux de privilégier le produit respectueux de l'environnement, qui est l'éthanol. En raison de sa composition à base de sources renouvelables, de sa réduction des émissions de gaz à effet de serre et de son impact environnemental plus faible par rapport au MTBE, l'éthanol est considéré comme un choix plus durable et responsable.

En prenant en compte ces aspects, il est recommandé d'opter pour l'essence contenant de l'éthanol comme choix préféré dans le contexte étudié. Cela permettra de promouvoir une utilisation plus respectueuse de l'environnement et de contribuer à la transition vers des solutions énergétiques plus durables.

Références Bibliographiques

- [1] Rabchi,Khalida.Rezigat,Tayeb.(2020). Etude et suivi par caractérisations de la production du l'essence sans plomb. Université de Mohamed Boudiaf –Msila.
- [2] Benmouhoub,Katia.Bensidhoum,Sara.(2022). Essences sans plomb : procédés de production et l'effet de l'ajout de MTBE sur l'indice d'octane –raffinerie d'Alger – Université A. Mira de Bejaia.
- [3] Boussama,Oussama.Boutamine,Housseem.Abed,Khaled. (2015). Nouvelles méthodes de production des essences sans plomb. Universite Larbi Ben M'hidi Oum el Bouaghi.
- [4] Sabrina,Martoum.Zoubaida,Frouhat.(2018).Etude de faisabilité de formulation d'une essence sans plomb au niveau de la nouvelle raffinerie RHM2 de Hassi Messaoud. Université de Ghardaïa.
- [5] Gsassi,Oussama.Zouad,Hadjer.Mehria,Chaima.(2021). Amélioration du qualité de l'essence (nombre d'octane) a la raffinerie d'adrar adrar RA1D. Université Echahid Hamma Lakhdar el Oued.
- [6] Karima,Kirouani .(2020). Etude correlative des caracteristiques physico-chimiques des essences sans plomb a base de MTBE et d'ETHANOL. Universite Saad Dahleb de Blida 1.
- [7] Adjir,Mohand Said.Benkezim.Rachid.(2018).Raffinage du pétrole et caractérisation d'un sous-produit « huile moteur commerciale pour véhicules lourds de type diesel ». Université A. Mira – Bejaia.
- [8] Cherradou,Ghania.Djabou,Nassima.(2013). Analyse par cpg/sm des essences automobiles et de condensat issus du pétrole brut algérien. Université Abderrahmane Mira – Bejaia.
- [9] Menasria,Hafidhe .(2020).Production de l'essence sans plomb par amélioration du procédé de reformage catalytique de RHM2. Université Yahia Feres de Medea.
- [10] Kouacem,Safa.(2021). Une étude théorique de la production d'essence (une étude comparative). Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [11] Lalaoui,Sonia.(2015).Caractérisation physico-chimiques des carburants des véhicules cas : essence super et gazole. Université Abderrahmane Mira – Bejaia.

- [12] Abouzou,Fatma.(2022). Suivi de la production de l'essence par le procédé de reformage catalytique (cru). Université Akli Mohand Oulhaj Bouira.
- [13] http://uqac.ca/chimie_ens/chimie_physique/chapitres/chap_5.htm.
- [14] Achou,Djamel Eddine.(2013). Etude de production l'essence sans plomb à la raffinerie de Hassi Messaoud RHM2.Universite Kasdi Merbah Ouargla.
- [15] « Les carburants : une source d'énergie chimique » [archive], un article culture sciences-chimie de l'école normale supérieure-dgesco.
- [16] Boucha,khaled.Ousfia,Abderrezak.(2019). Amelioration de l'indice d'octane par reformage catalytique au niveau de la raffinerie d'Adrar RA1D. Université Ahmed Draïa Adrar.
- [17] Besma Nada Boulahrouz.(2019). Substitution du PTE par du MTBE à la raffinerie de Skikda RA1K. Institut Algerien du Pétrole.
- [18] Djahida,Boudjenah.(2017). Utilisation de l'éthanol comme carburant et comme substituant au MTBE. Ecole Nationale Polytechnique.
- [19] Feia,Islam. Okba,Mohammed Nadjib.(2015). Amélioration de la teneur en précurseurs d'aromatiques de la naphta b au niveau du splitter de l'unité topping de la raffinerie de Skikda RA1K. Université Echahid Hamma Lakhdar el Oued.
- [20] Gsassi,Oussama. Zouad,Hadjer. Mehria,Chaima.(2021). Amélioration du qualité de l'essence (nombre d'octane) a la raffinerie d'Adrar Adrar RA1D. Université Echahid Hamma Lakhdar El Oued.
- [21] Hassan,Madjda Rayane.Guerfi Mounira.(2022). Amélioration de la qualité et la quantité du reformat par l'optimisation du transfert de chaleur dans l'unité reforming. Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [22] Mohamed Abdelmoumen,Ayache.Hadj Mahammed,Houcine.(2020). Suivie de l'indice d'octane du prétraitement de naphta sur le moteur CFR au niveau de la section reformage catalytique –Raffinerie D'adrar. Université Ahmed Draïa Adrar.
- [23] Boucha,Khaled.Ousfia,Abderrezak.(2019). Amélioration de l'indice d'octane par reformage catalytique au niveau de la raffinerie d'Adrar RA1D. Université Ahmed Draïa Adrar.

- [24] Slama,Amina.Menasria,Boutheyna.(2020). Amélioration des performances de l'unité de reformage catalytique ii (u103) RA1K (Skikda). Université 8 Mai 1945 Guelma.
- [25] P. Leprince.le raffinage du pétrole. tome 3 procédés de transformation, 1998 ISBN : 9782710807308. p 86-223.
- [26] Bisma Nada,Boulahrouz.(2019). Substitution du PTE par du MTBE à la Raffinerie de Skikda RA1K. Institut Algérien Du Pétrole.
- [27] Boubergoug,Adel.(2016). Régénération du catalyseur UOP (r86) du reforming catalytique.Université Badji Mokhtar-Annaba.
- [28] Bendiaf,Hadjer.(2018). Développement d'un système de production du biodiesel à partir d'huile utilisée. Université Abou Bekr Belkaïd De Tlemcen.

